

## COMMENTAIRE

### Le défi du siècle et la science économique

#### *The Challenge of the Century and Economics*

Aude Pommeret\*

---

**Résumé** – Les travaux des économistes du climat, sur le coût social du carbone notamment, se multiplient et les recherches académiques récentes sont reprises et déclinées par les administrations. En France, par exemple, la commission Quinet sur la valeur du carbone, la commission Criqui sur les coûts sectoriels des réductions d'émissions ou la commission Pisani-Ferry et Mahfouz sur l'évaluation du coût de la transition, ont été mises en place en vue d'une utilisation pour la politique publique. Mais l'intérêt pour le défi du siècle semble s'arrêter à la science économique dont les préconisations restent finalement peu appliquées. Les articles proposés dans ce numéro s'ils contribuent à la recherche académique, aident aussi à la prise en compte des coûts climatiques dans les politiques publiques et proposent des solutions pour que la transition énergétique se passe au mieux.

**Abstract** – *The work of climate economists, on the social cost of carbon in particular, is expanding and recent academic research is being taken on board and used by government bodies. In France, for example, the Quinet Commission on the value of carbon, the Criqui Commission on the sectoral costs of cutting emissions and the Pisani-Ferry and Mahfouz Commission on the assessment of the cost of the transition were set up for use in public policy. However, interest in the challenge of the century seems to stop at economics, the recommendations from which are ultimately rarely applied. While contributing to academic research, the articles contained in this issue also contribute to ensuring that climate costs are taken into account in public policies and propose solutions to help the energy transition is achieved in the best way possible.*

---

JEL : H23, H43, Q54

Mots-clés : changement climatique, coûts d'abattement, prix du carbone, politique environnementale

Keywords: climate change, abatement costs, price of carbon, environmental policy

\* IREG-USMB et France Stratégie. Correspondance : [aude.pommeret@univ-smb.fr](mailto:aude.pommeret@univ-smb.fr)

Les jugements et opinions exprimés par les auteurs n'engagent qu'eux-mêmes, et non les institutions auxquelles ils appartiennent, ni a fortiori l'Insee.

Citation: Pommeret, A. (2024). The Challenge of the Century and Economics. *Economie et Statistique / Economics and Statistics*, 544, 45–54.  
doi: 10.24187/ecostat.2024.544.2123

Si l'économie de l'environnement n'est pas une thématique reconnue à l'aune de son importance (Timbeau, 2024), force est de constater qu'il s'agit non seulement d'une sous-discipline, considérée comme une application parmi d'autres entrant dans le cadre de l'économie publique, mais aussi d'une thématique présentant une nature interdisciplinaire, ce qui ne simplifie pas la tâche des économistes qui s'y intéressent. Par exemple, pour modéliser convenablement la dynamique du réchauffement climatique, ou prendre en compte la criticité des matériaux qui entrent dans la construction des panneaux solaires, des éoliennes ou des batteries nécessaires à la transition énergétique, ou encore évaluer le coût de la rénovation thermique des bâtiments, il leur faut travailler en étroite collaboration avec des climatologues, des géologues ou des thermodynamiciens... Si une telle collaboration est déjà en soi un challenge, aboutir à des publications interdisciplinaires reconnues par la profession académique en est un autre.

Pour autant, les économistes se sont intéressés depuis plusieurs décennies aux ressources naturelles, développant des concepts qui peuvent aujourd'hui être mobilisés par les économistes du climat. Par ailleurs, ces derniers multiplient actuellement leurs travaux, notamment pour mesurer le coût social de la « plus grande et plus vaste défaillance du marché jamais observée » (Stern, 2006) et un large consensus se dégage parmi les économistes en faveur de la tarification du carbone, par le biais d'une taxe sur les émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)<sup>1</sup> ou d'un système de quotas d'émission, comme étant la meilleure – voire la seule – politique climatique. Ainsi, l'Association européenne des économistes de l'environnement et des ressources a-t-elle publié en 2021 une déclaration sur la tarification du carbone<sup>2</sup>.

Mais en fait, il semble que la tarification du carbone ne soit populaire que parmi les économistes. En France, dans un contexte de réduction du déficit public, il n'y a pas de soutien fort à la transition énergétique, et les gilets jaunes ont sonné le glas de la contribution climat-énergie (nom donné à la taxe sur les émissions de carbone instaurée en 2014 en France), bloquée à 44,6 € la tonne de CO<sub>2</sub> depuis lors. Les problèmes actuels de dette publique empêchant le financement des subventions pour soutenir la transition énergétique et les normes, qu'il s'agisse des zones à faibles émissions ou des normes agricoles, ayant prouvé leur impopularité, on peut peut-être espérer un retour sur le devant de la scène du prix du carbone, mais par

la petite porte. Le prix du carbone a davantage eu, ces dernières années, le vent en poupe au niveau européen, avec des initiatives telles que le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières ou l'EU-ETS<sup>3</sup>. Cependant, la transition écologique ou énergétique n'a pas été un sujet phare lors de l'élection européenne de 2024 et on ne peut qu'espérer le maintien des politiques qui ont été envisagées.

Le problème est donc peut-être moins du côté du manque de travaux des économistes que de celui de leur utilisation pour la politique publique. L'intérêt pour le défi du siècle semble s'arrêter à la science économique dont les préconisations restent derrière une barrière et ne se retrouvent pas appliquées. Les articles proposés dans ce numéro cherchent bien à lever cette barrière. Ils contribuent à la recherche académique, mais ils aident aussi à la prise en compte des coûts climatiques dans les politiques publiques et proposent des solutions pour que la transition énergétique se passe au mieux.

## Des avancées dans la recherche sur les coûts climatiques

Donner une valeur au carbone peut concrètement renvoyer à plusieurs logiques. La première consiste à adopter une approche coûts-bénéfices qui vise à déterminer le coût social du carbone, c'est-à-dire celui qui permet d'adopter la trajectoire socialement optimale d'émissions de gaz à effet de serre (GES) au niveau mondial, en égalisant à tout instant le coût marginal d'abattement, c'est-à-dire le coût de réduire les émissions de GES d'une tonne, et la somme actualisée des dommages marginaux futurs d'une tonne de GES émise aujourd'hui. Cette approche n'est pas aisée à décliner sous forme de politique publique, d'une part rien n'assurant que la trajectoire de réduction d'émissions impliquée par le coût social du carbone soit compatible avec les objectifs internationaux, européens et nationaux que se fixent les pays.

1. Le changement climatique provient des émissions de gaz à effet de serre (GES), dont le CO<sub>2</sub>. On peut cependant convertir tous les GES, en fonction de leur effet sur la température globale pour un horizon temporel donné, en équivalent CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>e), que l'on désigne souvent par abus de langage simplement CO<sub>2</sub>. Dans ce commentaire, on utilisera en général indifféremment GES ou CO<sub>2</sub>.

2. Voir <https://www.eaere.org/statement/>

3. Le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF) vise à taxer les émissions liées aux produits importés à un niveau équivalent à celui qui est appliqué aux produits nationaux soumis à une tarification carbone, avec pour objectif premier de lutter contre les fuites de carbone. L'EU-ETS2 est un nouveau système d'échange de quotas d'émission au niveau européen, qui a été créé pour couvrir les émissions provenant des bâtiments, du transport routier et d'autres secteurs ; il sera opérationnel en 2027. L'EU-ETS dans sa forme actuelle couvre les émissions des secteurs de la production d'électricité et de chaleur, de la fabrication industrielle et de l'aviation, qui représentent environ 40 % des émissions totales de GES dans l'UE.

D'autre part, cette approche pose des problèmes méthodologiques de complexité de calcul. En particulier, les valeurs obtenues par la recherche académique ne sont pas encore stabilisées, même si cette recherche est extrêmement active.

Le coût social du carbone est un bon exemple de sujet sur lequel la recherche en économie du climat est particulièrement foisonnante... et interdisciplinaire. En effet, les travaux ont tout d'abord cherché à améliorer la modélisation de la dynamique du système climatique terrestre (Otto *et al.*, 2013 ; Dietz *et al.*, 2021b ; Ricke *et al.*, 2018 ; Hänsel *et al.*, 2020). Jusqu'ici, les principaux modèles économiques avaient largement surestimé le délai entre les émissions de carbone et le réchauffement, et ignoré la saturation des réservoirs naturels absorbant le carbone (réservoirs dits puits de carbone) qui se produit lorsque la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> augmente. En raison de cette saturation, l'effet marginal des émissions cumulées sur le réchauffement est constant. En supposant que les dommages soient une fonction convexe du réchauffement, cela implique que le prix optimal du carbone augmente plus rapidement que la production globale.

Par ailleurs, la prise en compte des incertitudes qui affectent la fonction de dommages a été significativement améliorée. En premier lieu, des points de bascule (*tipping points*) et les incertitudes associées aux dommages ont été intégrés à la modélisation (Nordhaus, 2019 ; Lemoine & Traeger, 2016b ; Cai *et al.*, 2015 ; Dietz *et al.*, 2021a) et l'incertitude elle-même a fait l'objet d'une modélisation plus fine, grâce à la prise en compte de l'ambiguïté et de l'apprentissage de nouvelles informations (Rudik, 2020 ; Lemoine & Traeger, 2014 et 2016a ; Berger *et al.*, 2017 ; Lemoine & Rudik, 2017). Enfin, des fonctions d'utilité plus complexes et la prise en compte de la distribution des dommages ont permis d'une part de distinguer les préférences en matière de risque et de temps (Cai & Lontzek, 2019 ; Crost & Traeger, 2014 ; Daniel *et al.*, 2019), avec notamment une fonction d'utilité à la Epstein-Zin, et d'autre part d'intégrer l'aversion pour l'inégalité (Ricke *et al.*, 2018 ; Moore & Diaz, 2015 ; Dietz & Stern, 2015 ; Moyer *et al.*, 2014).

Des progrès ont aussi été réalisés dans la prise en compte des conséquences du changement climatique sur l'économie. Dans certaines modélisations, il est désormais supposé que le taux de croissance de l'économie (via la productivité des investissements ou la dépréciation du capital) – et non plus seulement le niveau de

la production – est affecté par les dommages climatiques (Ricke *et al.*, 2018 ; Dietz & Stern, 2015, Moyer *et al.*, 2014).

Le calibrage des dommages climatiques agrégés a été amélioré grâce à l'utilisation de données économiques et scientifiques récentes (Ricke *et al.*, 2018 ; Rudik, 2020 ; Moore & Diaz, 2015). Enfin, des avancées ont été réalisées en matière de prise en compte des dommages climatiques causés aux biens non marchands, tels que les systèmes naturels ou le patrimoine culturel, qui sont imparfaitement substituables aux biens échangés sur le marché (Stern & Persson, 2008 ; Bastien-Olvera & Moore, 2021 ; Weitzman, 2010 ; Drupp & Hänsel, 2021).

Ces avancées ont conduit à des estimations plus élevées du coût social du carbone avec fréquemment des valeurs supérieures à 100 \$ la tonne de CO<sub>2</sub>. Tol (2023) et Moore *et al.* (2024) réalisent des méta-analyses sur plusieurs milliers d'estimations du coût social du carbone. Tol (2023) montre qu'au cours des dix dernières années, les estimations du coût social du carbone sont passées de 9 \$/tCO<sub>2</sub> à 40 \$/tCO<sub>2</sub> pour un taux d'actualisation élevé et de 122 \$/tCO<sub>2</sub> à 525 \$/tCO<sub>2</sub> pour un taux d'actualisation faible. Moore *et al.* (2024) obtiennent une moyenne tronquée (i.e. en excluant les 0,1 % supérieurs et inférieurs de la distribution) de 132 \$/tCO<sub>2</sub> avec une queue de distribution épaisse à droite. Mais surtout, la fourchette des estimations est large et l'est restée au fil des ans, voire s'est élargie.

Pour pallier l'appréhension encore imparfaite des dommages climatiques, une seconde démarche, alternative à l'approche coûts-bénéfices, consiste à partir d'un objectif d'émissions ou de concentration de GES, puis à déterminer la trajectoire de valeurs du carbone pour atteindre cet objectif au moindre coût. Cette démarche, dite coût-efficacité, permet de s'affranchir d'un exercice de valorisation et d'actualisation des dommages, dans la mesure où la courbe de dommage marginal est remplacée par une cible d'émissions. Sa pertinence repose d'une part sur la légitimité de cette cible et d'autre part sur une bonne appréciation des coûts marginaux d'abattement liés notamment au portefeuille de technologies disponibles et prévisibles. L'approche coût-efficacité a fait l'objet de travaux académiques en Europe surtout, initiés par Michel Moreaux<sup>4</sup>.

4. Voir par exemple Chakravorty *et al.* (2005) ou van der Ploeg (2021).

## Des évaluations conduites par les administrations

Les travaux académiques récents sont repris et déclinés par les administrations en vue d'une utilisation pour la politique publique, par exemple par l'EPA (*Environmental Protection Agency*) aux États-Unis (sur la base de l'approche coûts-bénéfices), le *Green Book* au Royaume-Uni ou France Stratégie en France. En France, il existe une valeur tutélaire du carbone<sup>5</sup>, élaborée en 2008 puis mise à jour en 2019 sous le nom de « valeur de l'action pour le climat »<sup>6</sup> (VAC, commissions Quinet) et fondée sur une approche coût-efficacité, une mesure des coûts d'abattement (commission Criqui) par grands secteurs émetteurs de carbone et une évaluation du coût de la transition (commission Pisani-Ferry et Mahfouz).

### La valeur de l'action pour le climat

La VAC de la commission Quinet 2019<sup>7</sup>, qui relève de l'approche coût-efficacité, consiste à fixer une trajectoire de prix fictif du carbone déclenchant des changements technologiques ou de comportements compatibles avec le respect d'une trajectoire d'émissions de gaz fixée au niveau politique visant zéro émission nette en 2050. La pertinence de cette approche repose sur une bonne appréciation des coûts marginaux d'abattement, c'est-à-dire des coûts de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> liés notamment au portefeuille de technologies disponibles et prévisibles. Les impacts négatifs du CO<sub>2</sub> sont implicitement pris en compte par la cible visée mais les dommages climatiques ne sont pas explicitement intégrés.

La commission Quinet de 2019 s'est appuyée sur une démarche globale intégrant, au-delà des développements théoriques et empiriques disponibles, des travaux originaux de modélisation et une analyse prospective des technologies de décarbonation disponibles à partir de la définition d'une trajectoire d'émissions. La commission a pris en compte une trajectoire lissée de réduction des émissions, avec un point intermédiaire en 2030 (-43 % d'émissions brutes par rapport aux émissions de 1990, voir figure I) cohérente avec le Plan pour le climat de juillet 2017 et aboutissant à zéro émission nette (ZEN) en 2050. Les émissions considérées concernent l'ensemble des gaz à effet de serre (traduits en équivalent CO<sub>2</sub>) et correspondent à l'ensemble des émissions ayant lieu sur le territoire français nettes des puits de carbone disponibles sur le territoire national. L'objectif porte sur l'ensemble des secteurs, sans intégrer ex ante d'objectifs sectoriels, puisqu'une tonne de carbone (émise ou évitée) est la même, quel que soit le secteur d'origine.

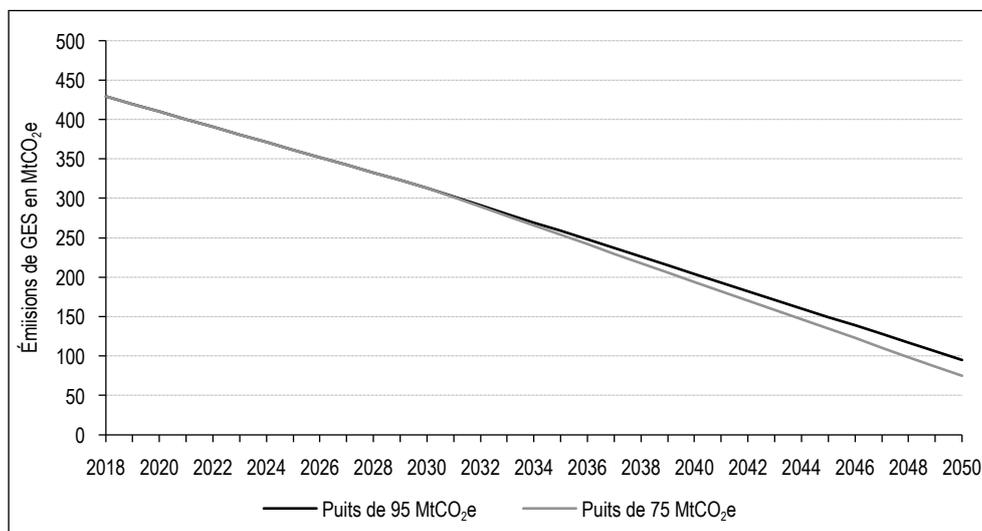
Des exercices de simulation et de prospective ont été réalisés à l'aide de modèles macroéconomiques d'une part et technico-économiques d'autre part qui permettent de déterminer la trajectoire temporelle de la valeur du carbone

5. La valorisation des actions de lutte contre le changement climatique a été historiquement élaborée, sous l'appellation de valeur tutélaire, pour l'évaluation socioéconomique des investissements publics. Mais cette évaluation a ensuite été élargie à l'ensemble des actions possibles, pour fixer les bonnes priorités, encourager les actions utiles et les séquencer dans le temps.

6. L'actualisation 2024 est en cours.

7. Voir aussi Quinet (2019b).

Figure I – Trajectoire cible de flux d'émissions de GES



Source : Quinet (2019a).

permettant de suivre un chemin de réduction des émissions cohérent avec l'objectif ZEN français. Les modèles macroéconomiques intègrent une hausse du prix relatif des options carbonées et montrent comment les différents secteurs s'adaptent à cette hausse de prix relatifs, investissent et se décarbonent. Les modèles technico-économiques utilisent quant à eux une description fine des technologies pour évaluer le coût de déploiement des technologies nécessaires à la décarbonation mais sont moins riches en mécanismes économiques. Les simulations initiales ont été complétées par des exercices de prospective technologique ou technico-économique<sup>8</sup>, permettant d'apprécier les coûts des différentes technologies de décarbonation – et donc les prix du carbone qui déclenchent l'abandon des solutions carbonées au profit des solutions décarbonées. Enfin, la trajectoire obtenue a fait l'objet d'échanges avec des parties prenantes constituées de chercheurs, d'économistes, de représentants des organisations syndicales et patronales, de certaines fédérations professionnelles et de représentants des administrations concernées, afin de juger de sa pertinence et des conditions de sa mise en œuvre. L'arbitrage entre une VAC présentant un saut initial mais une pente modérée et une VAC lissée au départ mais avec une pente initialement forte a en particulier fait l'objet de débats. La pente de la trajectoire est un paramètre aussi important que la valeur moyenne, car toute hypothèse de croissance de la VAC implique un taux d'échange entre une

tonne de GES économisée aujourd'hui et une tonne de GES économisée dans un an qui mesure les efforts que l'on souhaite consentir pour un effort précoce.

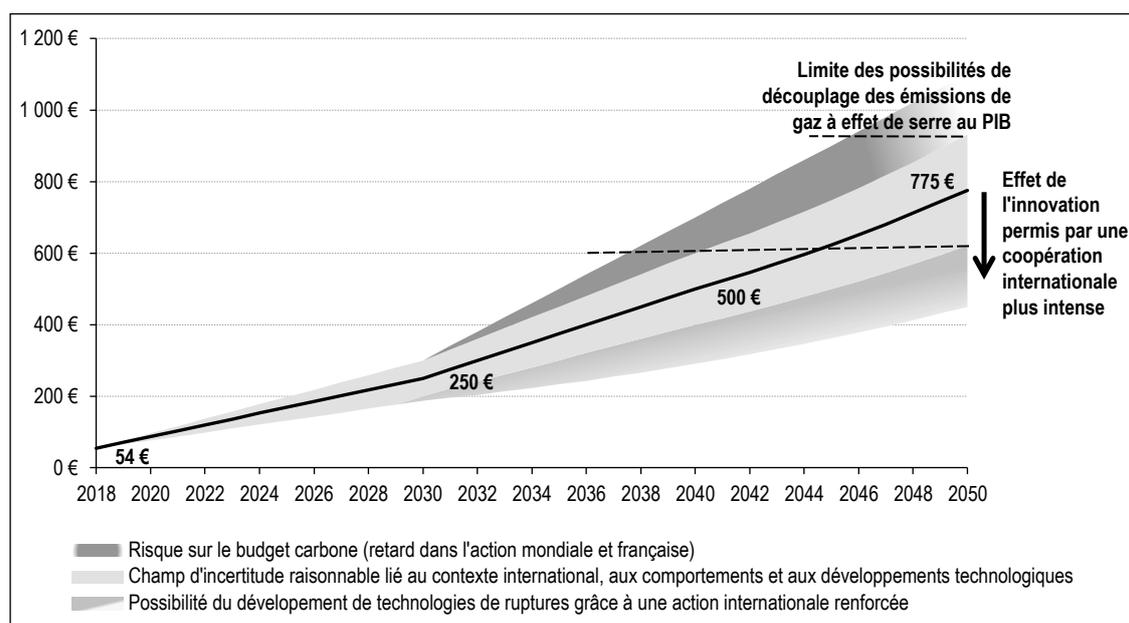
Sur la base des travaux de modélisation réalisés, la commission a proposé, en partant de 54 € en 2018<sup>9</sup>, de retenir une valeur cible de l'action pour le climat de 250 €<sub>2018</sub> en 2030 (voir figure II) : compte tenu de l'évolution des objectifs et des techniques, ainsi que du retard pris par rapport à la trajectoire souhaitable de nos émissions, la trajectoire définie par la commission Quinet (2019a) conduit donc à réviser nettement à la hausse la valeur tutélaire cible, puisque la cible fixée en 2009 pour 2030 était de 100 €. Au-delà des années 2030, la valeur proposée s'aligne progressivement sur une règle de croissance au taux d'actualisation socioéconomique<sup>10</sup>. Elle est à l'horizon 2050 en ligne avec les coûts prévisibles des technologies permettant la récupération du CO<sub>2</sub> dans l'air – soit une fourchette prudente de 600 à 900 €<sub>2018</sub>/tonne de CO<sub>2</sub>e. Sur la figure II, les faisceaux grisés rendent compte des incertitudes, croissantes au fur et à mesure que l'horizon considéré s'allonge au-delà de

8. Tels que ceux conduits au niveau mondial par l'Agence internationale de l'énergie (AIE) ou au niveau français dans le cadre de la préparation de la stratégie nationale bas-carbone (SNBC).

9. Valeur effective de la tarification spécifique du carbone à cette date, compte tenu de l'inflation.

10. C'est la règle de Hotelling, c'est-à-dire la règle de bonne gestion d'une ressource épuisable dans un cadre théorique (le budget carbone correspondant alors au stock de ressource épuisable) dont la valeur a vocation à croître au rythme du taux d'actualisation socioéconomique.

Figure II – La valeur de l'action pour le climat



Source : Quinet (2019a).

2030. Davantage de coopération internationale, permettant d'accélérer la production et la diffusion d'innovations, et rendant possibles des technologies de rupture à moindre coût, permettrait d'atteindre les mêmes objectifs avec une VAC plus faible. Au contraire, la plus faible disponibilité des matériaux critiques nécessaires aux investissements ou infrastructures à construire pour la transition énergétique (panneaux solaires, éoliennes, batteries), ou une dégradation du puits de carbone forestier renchérirait les coûts des technologies et impliquerait une VAC plus élevée.

La VAC est actuellement sujette à une nouvelle révision afin de prendre en compte les modifications d'objectif et de contexte qui ont eu lieu depuis 2019. Il s'agit essentiellement d'une définition plus précise et plus ambitieuse des objectifs, au niveau européen notamment (-55 % d'émissions à l'horizon 2030 par rapport à 1990), des changements technologiques, et de la prise en compte de l'évolution défavorable du puits de carbone forestier (le puits de carbone forestier en France s'est réduit de moitié au cours des dix dernières années à cause de la mortalité exceptionnelle des écosystèmes forestiers et de l'augmentation des prélèvements). Par ailleurs, les travaux de la commission Criqui sur les coûts d'abattement sectoriels et qui utilisent la VAC ont permis de prendre la mesure des difficultés pratiques que pose une VAC qui ne croît pas au taux d'actualisation socioéconomique sur toute la période<sup>11</sup>, ce qui ne garantit pas la neutralité intertemporelle des efforts.

#### *Les coûts d'abattement sectoriels*

Comme le recommandait le rapport 2019 de la commission Quinet sur la Valeur de l'Action pour le Climat, une commission sur les coûts d'abattement des émissions de GES a été mise en place en septembre 2019, afin d'identifier les principales options stratégiques, secteur par secteur, et d'en mesurer les coûts socioéconomiques. Cette commission, présidée par Patrick Criqui, a élaboré une méthodologie de calcul des coûts d'abattement et réalisé des estimations pour cinq secteurs stratégiques. Ces derniers ont été choisis en raison de leur importance dans les émissions de GES françaises, ou de leur importance dans la décarbonation du système énergétique : transports, système électrique, production d'hydrogène, logement et industrie (voir figure III). Ces travaux qui adoptent une perspective socioéconomique pour la France contribuent à une meilleure identification des déterminants des coûts d'abattement dans ces différents secteurs et permettent, dans une

perspective de planification, de hiérarchiser les actions à différents horizons de temps sur la trajectoire de neutralité carbone.

Les travaux de la commission Criqui ont conduit à identifier certaines questions spécifiques à l'évaluation des coûts d'abattement. Tout d'abord, son articulation avec la VAC est cruciale. En effet, c'est la comparaison (moins triviale qu'il y paraît, voir le chapitre « Méthodologie » du rapport de la commission) des coûts d'abattement avec la VAC qui permet de conclure à la pertinence ou non de l'adoption d'une technologie. Ensuite, l'évaluation des coûts d'abattement est complexe et entourée d'incertitudes, d'une part car il est nécessaire de prendre en compte l'évolution des coûts et performances des différentes options ou technologies sans omettre la dimension endogène du progrès technique, notamment à travers les « effets d'apprentissage ». D'autre part, l'abattement est réalisé grâce à la réalisation d'investissements caractérisés par des phénomènes d'inertie, d'effets dynamiques et d'interdépendances. Il est de ce fait souvent nécessaire d'entreprendre des actions coûteuses afin de débloquer l'accès à des potentiels moins coûteux. Ainsi en va-t-il par exemple des investissements en infrastructures de transport (par exemple les pistes cyclables), nécessaires au déclenchement des transferts modaux (de la voiture au vélo), ce qui conduira alors à raisonner en termes d'investissement non-marginal : le classement de ces actions isolées par ordre de mérite, à la « MAC curve McKinsey », qui répond en apparence au souci d'efficacité, perd donc sa pertinence. Parfois, il n'est même pas possible de construire le calcul sur la base de la comparaison de deux technologies isolées : si l'on considère la décarbonation complète du système électrique avec une pénétration très importante des énergies renouvelables dont la génération d'électricité est variable dans le temps (elle dépend notamment de la météo), il faut bien prendre en compte les « coûts système » liés à la nécessité d'assurer en permanence l'adéquation entre offre et demande d'électricité. Enfin, l'approche socioéconomique implique de prendre en compte les coûts et avantages externes, dont la quantification est difficile puisqu'ils échappent à la valorisation sur un marché. Les tentatives d'évaluation réalisées jusqu'à présent suggèrent que si ces coûts peuvent être très élevés, ils sont marqués de fortes incertitudes.

11. Voir le chapitre « Méthodologie » du rapport de la commission Criqui.

La figure III représente les coûts d'abattement résultant du déploiement de certaines technologies, phares pour les secteurs étudiés. Ils sont calculés pour une date précise potentiellement différente par technologie et selon une méthodologie assez complexe qui permet de les comparer directement à la VAC de Quinet (2019a) de cette date. Cette comparaison permet donc de déduire, conditionnellement à la trajectoire de VAC de Quinet (2019a), si chacune de ces technologies est souhaitable d'un point de vue socioéconomique. La commission Criqui obtient qu'à l'horizon 2030, les coûts d'abattement sont de l'ordre de 150 €/tCO<sub>2</sub> à 250 €/tCO<sub>2</sub> pour les principales options dans les secteurs de consommation finale de l'énergie ou pour la décarbonation de l'hydrogène utilisé comme matière première. Comme la trajectoire de VAC de Quinet (2019a) atteint 250 €/tCO<sub>2</sub> en 2030, ce graphique montre que la mise en œuvre des options étudiées, bien qu'elle soit coûteuse, est donc souhaitable du point de vue de la collectivité.

*Les coûts macroéconomiques de la transition énergétique*

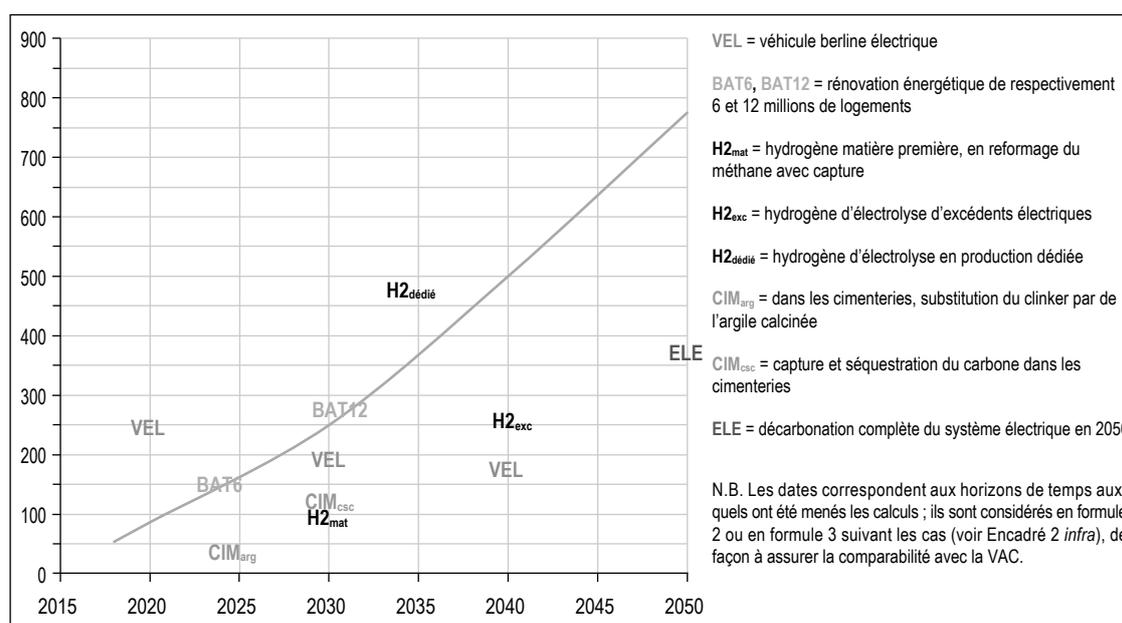
Une fois dressée la feuille de route des investissements nécessaires à la transition, se pose les questions du coût de ces investissements, de leur vitesse de réalisation, et de la prise en charge de leur coût. En France, le rapport Pisani-Ferry et Mahfouz met en évidence que la transition climatique est une grande transformation, analogue

par son ampleur aux révolutions industrielles du passé, que le retard pris et le nouveau contexte géopolitique imposent de conduire à un rythme accéléré (Pisani-Ferry & Mahfouz, 2023).

Cette transition va reposer sur trois mécanismes principaux. Tout d'abord, la substitution de capital à des combustibles fossiles va impliquer pour la France une augmentation substantielle des investissements, nécessaires à l'atteinte des objectifs de la précédente Stratégie nationale bas-carbone (SNBC 2), d'environ 70 milliards d'euros 2021 par an (2,5 points de PIB) jusqu'en 2030. La moitié environ devrait être assumée par les dépenses publiques, le reste étant à la charge du secteur privé. L'essentiel des technologies appelées à être mises en œuvre d'ici 2030 est d'ores et déjà disponible. Ensuite, le progrès technique va être réorienté de façon accélérée à la fois vers les alternatives aux énergies fossiles et vers l'amélioration de l'efficacité énergétique. Un rôle non négligeable est accordé à la sobriété énergétique : d'après ce rapport, le vecteur principal à l'horizon 2030 sera très certainement la substitution de capital aux énergies fossiles, mais la sobriété pourrait contribuer à la baisse des émissions pour une part comprise entre 12 % et 17 %.

Rien n'assure, cependant, que la trajectoire d'émissions retenue garantisse de réaliser la transition au coût minimal. Et c'est bien ce que remettent en question les deux articles de ce numéro.

Figure III – VAC et coûts d'abattement (en €/tCO<sub>2</sub>)



VEL = véhicule berline électrique  
 BAT6, BAT12 = rénovation énergétique de respectivement 6 et 12 millions de logements  
 H2<sub>mat</sub> = hydrogène matière première, en reformage du méthane avec capture  
 H2<sub>exc</sub> = hydrogène d'électrolyse d'excédents électriques  
 H2<sub>dédié</sub> = hydrogène d'électrolyse en production dédiée  
 CIM<sub>arg</sub> = dans les cimenteries, substitution du clinker par de l'argile calcinée  
 CIM<sub>csc</sub> = capture et séquestration du carbone dans les cimenteries  
 ELE = décarbonation complète du système électrique en 2050

N.B. Les dates correspondent aux horizons de temps auxquels ont été menés les calculs ; ils sont considérés en formule 2 ou en formule 3 suivant les cas (voir Encadré 2 *infra*), de façon à assurer la comparabilité avec la VAC.

## De la recherche au service des politiques publiques

L'article de Riyad Abbas, Nicolas Carnot, Matthieu Lequien, Alain Quartier-la-Tente et Sébastien Roux étudie l'impact sur les coûts de la transition de la trajectoire de réduction d'émissions adoptée (Abbas *et al.*, 2024). Sans remettre en question l'approche coût-efficacité, il s'interroge sur l'interprétation, en termes de modélisation, à donner à l'objectif Zéro Émission Nette en 2050 de façon à respecter l'Accord de Paris, mais aussi à minimiser les coûts de la transition. Les évaluations des administrations françaises se fondent sur la Stratégie française sur l'énergie et le climat (SFEC), qui propose un chemin de décarbonation et revient donc à s'imposer des contraintes supplémentaires. L'article étudie les conséquences de ces contraintes sur la vitesse de mise au rebut du capital brun et l'investissement en capital vert. Dans le modèle simple proposé, ces deux formes de capital peuvent avoir des productivités différentes et sont imparfaitement substituables. L'investissement est irréversible dans le sens où transformer du capital brun en vert ou en consommation est impossible, mais du capital brun peut être mis au rebut, ou « échoué », selon le vocabulaire consacré. Leur modèle permet d'examiner la façon dont les investissements, brun et vert, et les stocks de capital évoluent dans le temps, en fonction du type et de la sévérité de la contrainte propre à chaque scénario de décarbonation. Le calibrage se fait au niveau français : en particulier, une estimation stylisée de la part du capital brun dans le capital productif est proposée, sur la base des comptes nationaux et des chroniques d'investissements climat d'I4CE (2022). Les différents scénarios étudiés, plus ou moins contraints, permettent d'aboutir aux conclusions suivantes. Sans surprise, c'est dans le scénario le moins contraint (une fois éliminé le scénario ZEN seul, qui n'a pas grand sens au regard de l'Accord de Paris), c'est-à-dire avec une gestion intertemporelle du budget carbone, que la mise au rebut du capital brun et l'investissement vert s'engagent rapidement, ce qui limite le coût de la transition.

Se pose alors la question d'un autre type de coût : celui de l'acceptation de la transition énergétique. S'il est trop élevé, il peut purement et simplement empêcher cette transition. Or, cet article montre que l'introduction de contraintes ponctuelles engendre des mises au rebut brutales, de nature à compliquer l'acceptation de la transition. On peut donc interpréter les résultats comme un plaidoyer pour une gestion

« en budget carbone » de la transition. La règle de Hotelling qui en résulte permet de surcroît de s'affranchir d'une éventuelle incohérence entre le taux de croissance entre la VAC et le taux d'actualisation (voir plus haut). Enfin rien n'empêche néanmoins de s'imposer une trajectoire annuelle compatible avec une gestion intertemporelle du budget carbone. Elle permettrait notamment de vérifier annuellement les progrès effectivement réalisés au regard de ceux qui étaient attendus, voire de comptabiliser une dette climatique, indicateur pratique et convaincant, en ces temps de restrictions budgétaires.

L'article de Gert Bijmens et Carine Swartenbroekx étudie aussi la problématique du chemin de transition en s'intéressant aussi à la mise au rebut du capital brun : les auteurs cherchent à mesurer l'ampleur de la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> si la production était réaffectée des entreprises les plus polluantes d'un secteur aux entreprises les moins polluantes du même secteur (Bijmens & Swartenbroekx, 2024). En filigrane, on retrouve bien l'idée d'un prix du carbone, puisque leurs entreprises « zombies bruns » pourraient être définies comme des entreprises qui ne seraient plus concurrentielles si la valeur du carbone leur était imposée sous forme de taxe (ou de permis d'émission). Cette notion de « zombies bruns » peut donc être rapprochée des prix internes du carbone utilisés par certaines entreprises pour vérifier leur soutenabilité en anticipation de futures politiques climatiques contraignantes : si leur résultat net reste positif une fois ajouté à leurs coûts celui de leurs émissions de carbone valorisées à leur prix interne (c'est-à-dire défini par les entreprises elles-mêmes, mais le coût social du carbone ou la VAC sont de bonnes pistes) c'est que leur modèle économique résisterait à une politique environnementale dont le niveau de contrainte correspondrait à ce prix interne.

Les auteurs obtiennent qu'une réorientation limitée au sein d'un secteur vers les entreprises les moins émettrices et au détriment des entreprises les plus émettrices pourrait entraîner une réduction de 38 % des émissions européennes. Comme ceux de l'article précédent, les auteurs insistent sur l'attention à apporter à la mise au rebut du capital et recommandent de ne pas uniquement se focaliser sur l'investissement vert. Surtout, cet article est un véritable plaidoyer pour la mise en place d'un prix du carbone plutôt que de subventions à l'investissement vert : ce prix ferait spontanément disparaître les « zombies bruns » de l'économie, au profit des entreprises moins polluantes des mêmes secteurs.

\* \*  
\*

Tandis que la recherche en science économique se consacre largement à l'évaluation du coût climatique, et dans une moindre mesure, à celle des coûts d'abattement par exemple en intégrant les matériaux critiques et leur recyclage dans les infrastructures d'énergie renouvelable (voir Pommeret *et al.*, 2022), les administrations construisent des prix du carbone, évaluent les coûts d'abattement et mesurent les conséquences macroéconomiques de la transition. Et ensuite ? Les articles de ce numéro essaient d'aller plus loin, en soulevant la barrière entre préconisations et politiques effectives, et en s'approchant davantage de recommandations pratiques concernant le chemin de décarbonation de l'économie.

Les deux articles ne s'intéressent pas explicitement au prix du carbone – peu plébiscité par l'opinion publique – mais plutôt aux investissements verts et à la mise au rebut du capital brun et obtiennent des conclusions similaires : il faut mettre au rebut le capital brun au plus vite. Si l'efficacité économique de cette recommandation est indubitable, on voit mal comment elle pourrait être mieux acceptée, sous forme de réglementation par exemple, qu'un prix du carbone (qui pourrait lui-même conduire à l'échouage optimal).

Sans doute les disciplines avec lesquelles l'économie de l'environnement entretient des liens devraient-elles se déplacer des sciences dures vers des sciences sociales : sciences politiques, sociologie ou psychologie seraient sans doute mieux à même de soulever la barrière et d'éviter que l'intérêt pour le défi du siècle ne s'arrête à la science économique. □

---

## BIBLIOGRAPHIE

### Articles du dossier

**Abbas, R., Carnot, N., Lequien, M., Quartier-la-Tente, A. & Roux, S. (2024).** On the Way to Net Zero. But Which Way? *Economie et Statistique / Economics and Statistics*, 544, 3–26 (ce numéro).

**Bijnens, G. & Swartenbroekx, C. (2024).** Hunting “Brown Zombies” to Reduce Industry’s Carbon Emissions. *Economie et Statistique / Economics and Statistics*, 544, 27–44 (ce numéro).

### Autres références

**Bastien-Olvera, B. A. & Moore, F. C. (2021).** Use and non-use value of nature and the social cost of carbon. *Nature Sustainability*, 4(2), 101–108. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00615-0>

**Berger, L., Emmerling, J. & Tavoni, M. (2017).** Managing catastrophic climate risks under model uncertainty aversion. *Management Science*, 63(3), 749–765. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2015.2365>

**Cai, Y. & Lontzek, T. S. (2019).** The Social Cost of Carbon with Economic and Climate Risks. *Journal of Political Economy*, 127(6), 2684–2734. <https://doi.org/10.1086/701890>

**Cai, Y., Judd, K. L., Lenton, T. M., Lontzek, T. S. & Narita, D. (2015).** Environmental tipping points significantly affect the cost-benefit assessment of climate policies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(15), 4606–4611. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503890112>

**Chakravorty, U., Magné, B. & Moreaux, M. (2005).** A Hotelling model with a ceiling on the stock of pollution. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 30(12), 2875–2904. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2005.09.008>

**Crost, B. & Traeger, C. P. (2014).** Optimal CO<sub>2</sub> mitigation under damage risk valuation. *Nature Climate Change*, 4(7), 631–636. <https://doi.org/10.1038/nclimate2249>

**Daniel, K. D., Litterman, R. B. & Wagner, G. (2019).** Declining CO<sub>2</sub> price paths. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(42), 20886–20891. <https://doi.org/10.1073/pnas.1817444116>

**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*, 118(34). <https://doi.org/10.1073/pnas.2103081118>

**Dietz, S. & Stern, N. (2015).** Endogenous Growth, Convexity of Damage and Climate Risk: How Nordhaus’ Framework Supports Deep Cuts in Carbon Emissions. *The Economic Journal*, 125(583), 574–620. <https://doi.org/10.1111/eoj.12188>

**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*, 8(5), 895–921. <https://doi.org/10.1086/713977>

- Drupp, M. A. & Hänsel, M. C. (2021).** Relative Prices and Climate Policy : How the Scarcity of Non-Market Goods Drives Policy Evaluation. *American Economic Journal: Economic Policy*, 13, 168–201. <http://doi.org/10.1257/pol.20180760>
- Hänsel, M. C., Drupp, M. A., Johansson, D. J. A., Nesje, F., Azar, C., Freeman, M. C., Groom, B. & Sterner, T. (2020).** Climate economics support for the UN climate targets. *Nature Climate Change*, 10(8), 781–789. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0833-x>
- I4CE (2022).** *Panorama des financements climat*. Édition 2022. [https://www.i4ce.org/wp-content/uploads/2022/10/Panorama-des-financements-climat-edition-2022\\_au-16-12-22.pdf](https://www.i4ce.org/wp-content/uploads/2022/10/Panorama-des-financements-climat-edition-2022_au-16-12-22.pdf)
- Lemoine, D. & Traeger, C. (2014).** Watch Your Step: Optimal Policy in a Tipping Climate. *American Economic Journal Economic Policy*, 6(1), 137–166. <https://doi.org/10.1257/pol.6.1.137>
- Lemoine, D. & Traeger, C. P. (2016a).** Ambiguous Tipping Points. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 132, 5–18. <http://doi.org/10.1016/j.jebo.2016.03.009>
- Lemoine, D. & Traeger, C. P. (2016b).** Economics of tipping the climate dominoes. *Nature Climate Change*, 6(5), 514–519. <https://doi.org/10.1038/nclimate2902>
- Lemoine, D. & Rudik, I. (2017).** Managing Climate Change Under Uncertainty: Recursive Integrated Assessment at an Inflection Point. *Annual Review of Resource Economics*, 9(1), 117–142. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100516-053516>
- Moore, F. C. & Diaz, D. B. (2015).** Temperature impacts on economic growth warrant stringent mitigation policy. *Nature Climate Change*, 5(2), 127–131. <https://doi.org/10.1038/nclimate2481>
- Moore, F., Drupp, M., Rising, J., Dietz, S., Rudik, I. & Wagner, G. (2024).** Synthesis of Evidence Yields High Social Cost of Carbon Due to Structural Model Variation and Uncertainties. NBER, *Working Paper* 32544. <https://doi.org/10.3386/w32544>
- Moyer, E. J., Woolley, M. D., Matteson, N. J., Glotter, M. J. & Weisbach, D. A. (2014).** Climate Impacts on Economic Growth as Drivers of Uncertainty in the Social Cost of Carbon. *The Journal of Legal Studies*, 43(2), 401–425. <https://doi.org/10.1086/678140>
- Nordhaus, W. (2019).** Economics of the disintegration of the Greenland ice sheet. *Proceedings of The National Academy of Sciences*, 116(25), 12261–12269. <https://doi.org/10.1073/pnas.1814990116>
- Otto, A., Todd, B. J., Bowerman, N., Frame, D. J. & Allen, M. R. (2013).** Climate system properties determining the social cost of carbon. *Environmental Research Letters*, 8(2), 024032. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024032>
- Pisani-Ferry, J. & Mahfouz, S. (2023).** Les incidences macroéconomiques de l'action pour le climat. France Stratégie. Rapport, mai 2023. <https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/2023-incidences-economiques-rapport-pisani-5juin.pdf>
- Pommeret, A., Ricci, F. & Schubert, K. (2021).** Critical Raw Materials for the Energy Transition. *European Economic Review*, 141, 103991. <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2021.103991>
- Quinet, A. (2019a).** La valeur de l'action pour le climat - Une valeur tutélaire du carbone pour évaluer les investissements et les politiques publiques. France Stratégie. Rapport. [https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-2019-rapport-la-valeur-de-laction-pour-le-climat\\_0.pdf](https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-2019-rapport-la-valeur-de-laction-pour-le-climat_0.pdf)
- Quinet, A. (2019b).** What Value Do We Attach to Climate Action? *Economie et Statistique / Economics and Statistics*, 510-511-512, 165–179. <https://doi.org/10.24187/ecostat.2019.510t.1995>
- Ricke, K., Drouet, L., Caldeira, K. & Tavoni, M. (2018).** Country-level social cost of carbon. *Nature Climate Change*, 8(10), 895–900. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0282-y>
- Rudik, I. (2020).** Optimal Climate Policy When Damages are Unknown. *American Economic Journal Economic Policy*, 12(2), 340–373. <https://doi.org/10.1257/pol.20160541>
- Stern, N. (2006).** *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sterner, T. & Persson, U. M. (2008).** An Even Sterner Review: Introducing Relative Prices into the Discounting Debate. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2(1), 61–76. <https://doi.org/10.1093/reep/rem024>
- Timbeau, X. (2024).** The Lack of Interest in Economics for the Challenge of the Century. *Economie et Statistique / Economics and Statistics*, 543, 65–74. <https://doi.org/10.24187/ecostat.2024.543.2119>
- Tol, R. S. J. (2023).** Social cost of carbon estimates have increased over time. *Nature Climate Change*, 13, 532–536. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01680-x>
- van der Ploeg, F. (2021).** Carbon Pricing Under Uncertainty. *International Tax and Public Finance*, 28(5), 1122–1142. <https://doi.org/10.1007/s10797-021-09686-x>
- Weitzman, M. L. (2010).** What Is The” Damages Function” For Global Warming—And What Difference Might It Make? *Climate Change Economics*, 1, 57–69. <https://doi.org/10.1142/s2010007810000042>