

Tarifification du carbone et subventions vertes : quelle combinaison des deux est optimale ?

Carbon Pricing and Green Subsidies: What Is the Optimal Combination of the Two?

Riyad Abbas*, Mathieu Fouquet** et Alexandre Godzinski***

Résumé – Les politiques incitant à la décarbonation via la tarification du carbone se heurtent à plusieurs difficultés : pertes de compétitivité, fuites de carbone, manque d’acceptabilité sociale. Pour répondre à ces défis, de plus en plus d’États sont séduits par les incitations prenant la forme de subventions vertes. À l’aide du modèle d’équilibre général calculable Vulcain, nous évaluons l’efficacité relative de ces deux types de dispositifs et nous nous demandons s’il y a un intérêt à les combiner. Les subventions vertes ne permettent pas d’atteindre seules des objectifs de décarbonation ambitieux. L’utilisation combinée des deux dispositifs permet d’atteindre un optimum en matière de PIB à cible d’atténuation donnée. Les subventions vertes pallient les problèmes de perte de compétitivité et de fuites de carbone posés par la tarification du carbone. Une partie des recettes de la tarification est préservée pour en améliorer l’acceptabilité sociale. Enfin, nous montrons qu’en l’absence de coopération internationale les pays sont incités à recourir excessivement aux subventions vertes.

Abstract – Policies encouraging carbon mitigation by means of carbon pricing come up against a number of difficulties, such as loss of competitiveness, carbon leakage and lack of social acceptability. To address these challenges, more and more governments are opting for incentives in the form of green subsidies. Using the Vulcain computable general equilibrium model, we evaluate the relative efficiency of these two types of mechanisms and study whether it is worth combining the two. Green subsidies alone cannot achieve ambitious carbon mitigation targets. Combining the two policies allows to reach a GDP optimum for a given mitigation target. Green subsidies overcome the problems of loss of competitiveness and carbon leakage arising from carbon pricing. A portion of carbon pricing revenues are redistributed to make this measure more socially acceptable. Finally, we show that in the absence of international cooperation, countries have an incentive to make an excessive use of green subsidies.

JEL : C68, C72, D58, D62, E13, F18, F64, H23, Q43, Q54

Mots-clés : réduction des émissions, tarification du carbone, subventions vertes, équilibre général calculable, coopération internationale

Keywords: reducing emissions, carbon pricing, green subsidies, computable general equilibrium model, international cooperation

* Commissariat général au développement durable (CGDD) au moment de la réalisation de l’étude ; ** Commissariat général au développement durable (CGDD) ; *** Commissariat général au développement durable (CGDD) et Centre de recherche en économie et statistique (CREST).

Correspondance : alexandre.godzinski@ensae.fr

Les auteurs remercient Cecilia Bellora, Nicolas Carnot, Véronique Eglhoff, Lionel Fontagné, Christian Gollier, Christophe Gouel, Dominique Goux, Boris Le Hir, Matthieu Lequien, Vincent Marcus, Jérôme Pivard, Sébastien Roux, Katheline Schubert, Olivier Simon, ainsi que deux rapporteurs anonymes d’Economie et Statistique / Economics and Statistics et les participants à des séminaires au CGDD, à l’Insee et à la DG Trésor, pour leurs suggestions précieuses.

Reçu en septembre 2023, accepté en novembre 2024.

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: Abbas, R., Fouquet, M. & Godzinski, A. (2024). Carbon Pricing and Green Subsidies: What Is the Optimal Combination of the Two? *Economie et Statistique / Economics and Statistics*, 545, 47–63. doi: 10.24187/ecostat.2024.545.2128

Le réchauffement climatique pose à l'humanité un défi sans précédent, qui ne peut être relevé qu'au niveau mondial. L'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère terrestre, parmi lesquels une majorité de CO₂, entraîne une hausse des températures et une déstabilisation du climat, et ce quelle que soit la région du monde où les GES sont émis. Ainsi, les conséquences environnementales et économiques du dérèglement climatique toucheront à long terme tous les pays, bien que ce soit à des niveaux divers. Parmi les nombreuses études sur le sujet, Alestra *et al.* (2020) estiment à 13 % la perte de PIB mondial liée au changement climatique en 2100, en cas d'inaction des États. Partout les pertes de bien-être et les impacts sur la biodiversité et la disponibilité des ressources seraient considérables. Face à ce constat, le consensus se fait au sein des économistes quant à l'urgence d'agir. Ainsi Germain & Lellouch (2020) préconisent que la France consacre annuellement 4,5 % de son PIB à des dépenses pour le climat, contre 1,9 % en 2018. Par ailleurs, en prenant en compte la dégradation de l'environnement et du climat, les mêmes auteurs estiment que la richesse moyenne par habitant est en fait en diminution au moins depuis les années 1990, et ce tant en France qu'à l'échelle mondiale. Ainsi, des efforts ambitieux de réduction de nos émissions de GES permettraient de retrouver le chemin d'une prospérité durable.

Il est aujourd'hui clair que l'absence d'intervention des pouvoirs publics conduirait à des niveaux d'émissions de GES catastrophiques. En effet, les stocks de ressources fossiles disponibles sont très loin d'être épuisés, tandis que, sans aide publique, le progrès technique dans les énergies renouvelables progresse lentement. Si la nécessité d'une intervention des pouvoirs publics est donc certaine, la question se pose cependant de savoir quelle forme elle doit prendre. Par quels instruments politiques et économiques la réduction des émissions de GES doit-elle être atteinte ? Il y a deux types d'enjeux : d'une part que la politique menée soit efficace, c'est-à-dire qu'elle permette de réduire nos émissions de GES au moindre coût économique ; d'autre part que les mesures prises soient socialement acceptables, notamment en évitant de faire porter une part excessive de l'effort sur les populations les plus modestes, au risque que ces mesures soient rejetées par les citoyens.

Une grande diversité d'instruments peut être mobilisée pour réduire les émissions de GES. Tout d'abord, des instruments de type signal-prix peuvent être utilisés pour inciter à la

décarbonation. Conformément au paradigme de la carotte et du bâton, ces signaux-prix peuvent soit augmenter l'attrait des modes de production verts (carotte), notamment au travers de subventions, soit réduire celui des modes bruns (bâton), via par exemple des taxes d'accise sur les énergies fossiles, des marchés de quotas d'émissions ou des malus sur les véhicules très émetteurs. D'autres instruments cherchent à susciter ou à orienter des actions volontaires des acteurs privés, par des campagnes d'information ou par la mise en œuvre d'écolabels. D'autres enfin reposent sur une intervention plus directe de l'État via des normes et réglementations, ou via ses propres investissements publics. En France, par exemple, on rencontre une combinaison de l'ensemble de ces instruments. Une composante carbone, usuellement appelée « taxe carbone », a été introduite depuis 2014 dans les accises sur l'énergie et a vu son niveau relevé chaque année jusqu'en 2018. Un marché de quotas d'émissions a été établi depuis près de 20 ans à l'échelle de l'Union européenne couvrant l'industrie, le secteur énergétique et les vols intra-européens. Il a permis d'atteindre des prix de l'ordre de 90 € par tonne de CO₂ émise pour ces secteurs en 2023. Des réglementations ont été introduites sur le non remplacement des chaudières au fioul, l'interdiction de location des logements « passoires thermiques » ou encore la fin des ventes de voitures thermiques neuves en 2035. Des campagnes d'information ont été menées durant la crise énergétique de 2022 afin d'inciter les citoyens à plus de sobriété énergétique. L'État investit des sommes importantes pour la rénovation thermique de ses bâtiments et s'efforce de verdir le contenu de ses commandes publiques. Enfin des subventions importantes ont été accordées afin d'aider à décarboner les 50 sites industriels les plus émetteurs, ou afin d'attirer des usines de batteries sur le territoire.

Parmi tous ces instruments, la littérature économique a aujourd'hui clairement établi que les mesures visant à mettre un prix sur les émissions de GES sont les plus efficaces. Baranzini *et al.* (2017) ont synthétisé les arguments allant en ce sens : à l'inverse des réglementations, des investissements étatiques ou des subventions, en fixant un prix du carbone égal à son coût social estimé, chaque agent économique (entreprise, ménage, collectivité) prend librement sa décision en tenant compte du coût social de ses actions. S'il choisit d'émettre une tonne de carbone, il fait ce choix en internalisant combien cette émission coûte à la société. Il ne le fait donc que lorsque la décarbonation de ses

activités aurait été trop coûteuse comparée à la valeur que la société accorde à la réduction des émissions. À l'inverse, s'il lui est peu coûteux de réduire ses émissions par rapport au coût social de celles-ci, il fait le choix de décarboner son activité pour ne pas avoir à s'acquitter du prix du carbone. La tarification du carbone est donc plus souple, permet de s'adapter à la diversité des situations, et ne nécessite pas de la part des pouvoirs publics qu'ils sachent parfaitement juger des stratégies de décarbonation les moins coûteuses.

La tarification du carbone pose cependant la question de l'utilisation à faire des recettes générées. Un champ important de la littérature économique a traité de la possibilité d'obtenir un « double dividende » si les recettes des taxes environnementales sont utilisées pour réduire la fiscalité du travail ou du capital (Tullock, 1967 ; Terkla, 1984 ; Pearce, 1991). Non seulement la taxation environnementale permet de réduire une pollution néfaste au bien-être de la population, mais en plus elle dégage des revenus qui permettent de réduire les taxes les plus distorsives et ainsi encourage l'investissement et le travail. Néanmoins, les politiques de réduction des émissions de GES, lesquelles ne déploient leurs effets positifs qu'à un horizon lointain, peuvent avoir dans l'immédiat un coût économique élevé. C'est pourquoi la possibilité réelle d'un double dividende dans le cas de la tarification du carbone a été remise en cause. Par exemple, Goulder (1995) estime que les gains permis par les baisses de fiscalité ne compensent pas entièrement le coût économique de l'introduction d'une tarification du carbone. Surtout, le choix d'utiliser les recettes liées aux taxes sur le carbone pour réduire la fiscalité du travail ou du capital favorise les plus aisés, comme l'ont montré Carbone *et al.* (2013) et Metcalf (1999), ce qui pose la question de l'acceptabilité sociale de la mesure.

En effet, le principal défaut de la tarification du carbone est qu'elle est une forme de prélèvement régressive (Douenne, 2020 ; Berry, 2017 ; Metcalf, 1999), c'est-à-dire qu'elle pèse plus fortement dans le budget des ménages modestes en proportion de leur revenu disponible, en comparaison des ménages aisés. Ces effets anti-redistributifs limitent nettement l'acceptabilité sociale de la tarification du carbone. C'est par exemple dans ce contexte que la France a dû abandonner sa trajectoire de relèvement progressif de la composante carbone de l'accise sur les énergies, suite aux manifestations des « gilets jaunes ». Ces effets anti-redistributifs peuvent cependant être compensés en

redistribuant les recettes de la tarification de manière forfaitaire entre tous les ménages, voire en les redistribuant de manière plus ciblée en direction des ménages modestes, mais au risque de réduire l'intérêt économique du dispositif (Nordhaus, 1993). À l'échelle de l'Union européenne (UE), dans le cadre de la création d'un nouveau marché du carbone incluant les émissions directes des ménages, il est ainsi prévu qu'une partie des recettes fiscales soient mobilisées afin d'accompagner les ménages les plus modestes dans leur transition énergétique à travers la création d'un Fonds social pour le climat.

Un autre défaut majeur des politiques de tarification du carbone apparaît lorsqu'elles sont appliquées de manière inégale à l'échelle planétaire, certains pays mettant en place un prix du carbone nettement plus élevé que d'autres. La tarification du carbone fait alors face, à mesure qu'elle devient plus ambitieuse, à un risque croissant de « fuites de carbone », c'est-à-dire que le bénéfice de la baisse des émissions de GES dans une zone « vertueuse » se trouve partiellement ou entièrement perdu à cause d'une hausse des émissions dans d'autres zones, moins exigeantes sur le plan environnemental (OCDE, 2020). Il existe deux principaux canaux par lesquels ces fuites peuvent arriver. D'une part une perte de compétitivité pour les entreprises exposées à un prix élevé du carbone en comparaison des entreprises étrangères non soumises à la taxe, et donc un risque de délocalisations d'usines vers les pays les moins-disant en matière de régulation environnementale (Ederington *et al.*, 2005 ; Dechezleprêtre & Sato, 2017 ; Carbone & Rivers, 2017). D'autre part un « paradoxe vert » (Jensen *et al.*, 2015), dans son acception large : la tarification réduit la demande intérieure d'énergies fossiles, ce qui incite les producteurs de ces énergies à abaisser leur prix pour ne pas être évincés, et conduit par conséquent à une augmentation de la demande ailleurs dans le monde par effet rebond (Eichner & Pethig, 2011).

Étant donné les difficultés plurielles posées par la tarification du carbone, de nombreux États se sont tournés, à divers degrés, vers le recours aux subventions vertes. Par exemple, les États-Unis ont déployé en 2022 l'*Inflation Reduction Act* (IRA), un paquet législatif introduisant 370 milliards de dollars de dépenses pour lutter contre le réchauffement climatique, pour l'essentiel au travers de subventions vertes. Ces subventions s'adressent tant aux entreprises produisant de l'électricité d'origine renouvelable qu'aux industries mettant en œuvre des technologies de capture de leurs émissions

de GES, ou encore à celles produisant localement des voitures électriques. Ces logiques de subventionnement des investissements verts s'observent aujourd'hui dans la plupart des pays ayant décidé de décarboner leur économie, tant en France qu'en Arabie Saoudite ou en Chine. Dans ce dernier pays, les subventions massives attribuées aux industries du panneau solaire et de la voiture électrique posent la question de la bonne attitude à adopter pour les partenaires commerciaux. Ces subventions vertes ont pour principal intérêt de ne pas entraver la compétitivité des entreprises ciblées, voire de la favoriser. Les subventions vertes sont par ailleurs des mesures qui emportent une forte adhésion de la part des citoyens (Dechezleprêtre *et al.*, 2022 ; Douenne & Fabre, 2020 ; Abou-Chadi *et al.*, 2024 ; Leiserowitz *et al.*, 2010 ; Mahmoodi *et al.*, 2018).

La littérature économique ayant étudié ex ante le potentiel environnemental et économique des subventions vertes est toutefois unanime à estimer que celles-ci présentent un intérêt limité. Dans l'ensemble elles apparaissent comme nettement moins efficaces que la tarification du carbone (Fischer & Preonas, 2010 ; Kalkuhl *et al.*, 2013 ; Goulder & Parry, 2008 ; Baranzini *et al.*, 2017). En plus de la meilleure flexibilité permise par la tarification du carbone, ce résultat est en partie lié à l'existence d'un important phénomène de « paradoxe vert » dans le cas de subventions vertes attribuées en économie fermée, les prix de l'énergie réagissant plus fortement qu'en économie ouverte. Par ailleurs cette mesure réduit le prix moyen de l'énergie et incite donc à une augmentation de la consommation d'énergie, ce qui rend d'autant plus difficile la réduction des émissions. Néanmoins la littérature existante n'a étudié la question qu'à travers des simulations en économie fermée, c'est-à-dire qu'une unique région était considérée, sans interaction commerciale avec des régions étrangères et par conséquent sans risque de délocalisations et de fuites de carbone. La question de savoir si ces subventions vertes sont pertinentes dans un cadre international concurrentiel reste donc entièrement ouverte. La pertinence de la combinaison des subventions vertes avec une tarification du carbone a également été peu étudiée, en particulier par la littérature ex ante. Stechemesser *et al.* (2024) montrent cependant sur la base d'une étude ex post que cette combinaison représente une part importante des politiques climatiques efficaces.

Nous utilisons le modèle d'équilibre général calculable Vulcain, dans lequel les industries

de l'UE sont en concurrence avec celles du reste du monde, afin d'étudier le potentiel des subventions vertes dans un contexte d'économie ouverte. À cible de réduction des émissions de l'UE donnée, nous estimons que les subventions vertes seules ont peu d'intérêt comparées à la tarification du carbone, notamment pour ce qui est du coût économique. Néanmoins elles permettent de préserver la balance commerciale de l'UE, laquelle se dégrade fortement en cas de tarification élevée du carbone. Nous étudions ensuite la possibilité d'utiliser une partie des recettes de tarification du carbone afin de financer des subventions vertes, le reste des recettes étant reversé forfaitairement aux ménages. Nous trouvons qu'il existe alors, pour le PIB de l'UE, un optimum intérieur lorsque 40 % des recettes servent à financer des subventions vertes. Cela est dû à un mix équilibré entre une consommation intérieure soutenue par la redistribution forfaitaire des recettes aux ménages et une compétitivité des industries européennes soutenue par les subventions vertes. Le recours aux subventions vertes est par ailleurs bénéfique pour l'emploi, permet de contenir la hausse du prix des énergies, et aboutit à des émissions mondiales de carbone plus faibles. Enfin, nous montrons que même lorsqu'une coopération internationale est possible sur la réduction des émissions, il demeure un enjeu de coordination sur les dispositifs à mobiliser. Il peut en effet exister une forme de dilemme du prisonnier dans lequel les pays ont collectivement intérêt à coopérer en mettant en place peu de subventions vertes, mais où chaque pays est individuellement incité à y recourir plus fortement que dans l'optimum coopératif.

1. Le modèle Vulcain

Le modèle Vulcain possède une structure aussi simple que possible, mais suffisante à la représentation des principaux mécanismes macroéconomiques relatifs à la transition énergétique sur le long terme, dans l'esprit des recommandations émises par Mahfouz & Pisani-Ferry (2022)¹. La nature stylisée du modèle permet ainsi de comprendre aisément les principaux mécanismes économiques à l'œuvre, et d'avoir une vision claire des hypothèses conduisant aux résultats. La contrepartie est que ce type de modèles n'est pas adapté pour effectuer des analyses quantifiées précises. Ce sont les résultats qualitatifs et les formes des courbes qui doivent être regardés et analysés.

1. "La bonne méthode est sans doute de construire des modèles simplifiés (toy models) pour représenter spécifiquement les mécanismes économiques fondamentaux à l'œuvre dans la décarbonation [...]".

La réduction des émissions étant un processus qui s'inscrit dans une perspective de long terme, en supposant des changements structurels des comportements, des modes de production, de transport et de consommation, les modèles disposant d'une forte structure théorique sont à privilégier sur les modèles plus économétriques pour étudier les politiques climatiques. En effet, ces modèles sont plus à même de représenter des agents économiques susceptibles de changer radicalement de comportement suite à des évolutions structurelles du paysage économique. C'est pourquoi Vulcain est un modèle d'équilibre général calculable, avec une forte assise théorique.

De nombreux modèles utilisés dans la littérature économique, en particulier les plus stylisés, se placent dans un cadre d'économie fermée : une seule région du monde est simulée, sans interaction commerciale avec le reste du monde. C'est tout particulièrement le cas dans le champ de la littérature étudiant les subventions vertes (Acemoglu *et al.*, 2012 ; Kalkuhl *et al.*, 2013 ; Schneider & Goulder, 1997 ; Kverndokk *et al.*, 2004). Pourtant, les politiques climatiques sont encore aujourd'hui particulièrement peu coordonnées entre régions, avec des divergences importantes sur le niveau d'ambition et sur les dispositifs mobilisés. Dans ce contexte, être en mesure d'analyser l'efficacité des différents instruments lorsque les politiques climatiques sont diverses à l'échelle mondiale est essentiel. Ainsi, Vulcain est un modèle mondial à plusieurs régions, qui réalisent des échanges commerciaux et qui sont susceptibles de mettre en œuvre des politiques climatiques divergentes.

De nombreux modèles macroéconomiques s'appuient sur une description très détaillée des secteurs d'activité. C'est le cas par exemple du modèle IMACLIM du Cired (Gherzi, 2014), du modèle ThreeME développé par l'OFCE (Reynes *et al.*, 2013), du modèle MIRAGE du Cepii (Decreux & Valin, 2007), du modèle ENV-Linkages de l'OCDE (Château *et al.*, 2014), ou encore du modèle ENVISAGE de la Banque mondiale (Van der Mensbrugge, 2008).

Afin de demeurer dans une logique de stylisation des mécanismes clés de la transition énergétique, le modèle distingue un nombre restreint de secteurs. Deux dimensions sont prises en compte : l'exposition à la concurrence internationale et le type d'énergie consommée. La première dimension conduit à distinguer les biens « exposés » à la concurrence internationale des biens qui ne le sont pas, qu'on appellera ici les biens « abrités ». La seconde

amène à comparer les biens « bruns », dont la production mobilise du combustible fossile et entraîne donc de fortes émissions de GES, et les biens « verts », dont la production mobilise de l'électricité et s'avère donc à plus faible teneur en carbone. L'électricité n'est cependant pas entièrement produite de manière décarbonée, car elle peut en partie provenir elle-même de source fossile. Néanmoins les biens « verts » sont initialement moins carbonés que les biens « bruns », et ils présentent de meilleures opportunités de décarbonation à travers les possibilités de verdissement du mix électrique.

Le croisement de ces deux dimensions amène ainsi à définir quatre biens² : deux biens exposés, un brun et un vert, et deux biens abrités, un brun et un vert également. Chacun des quatre biens stylisés nécessitant de l'énergie pour être produit, le modèle comporte aussi un secteur extractif produisant un combustible fossile générique et un secteur de production d'électricité mobilisant différentes sources : le nucléaire, l'énergie renouvelable et le combustible fossile. Les dichotomies stylisées entre biens brun et vert d'une part, exposés et abrités d'autre part, paraissent pertinentes au regard de la littérature économique existante (Abbas *et al.*, 2024 ; Blanchet & Pesme, 2024 ; Branger & Quirion, 2014).

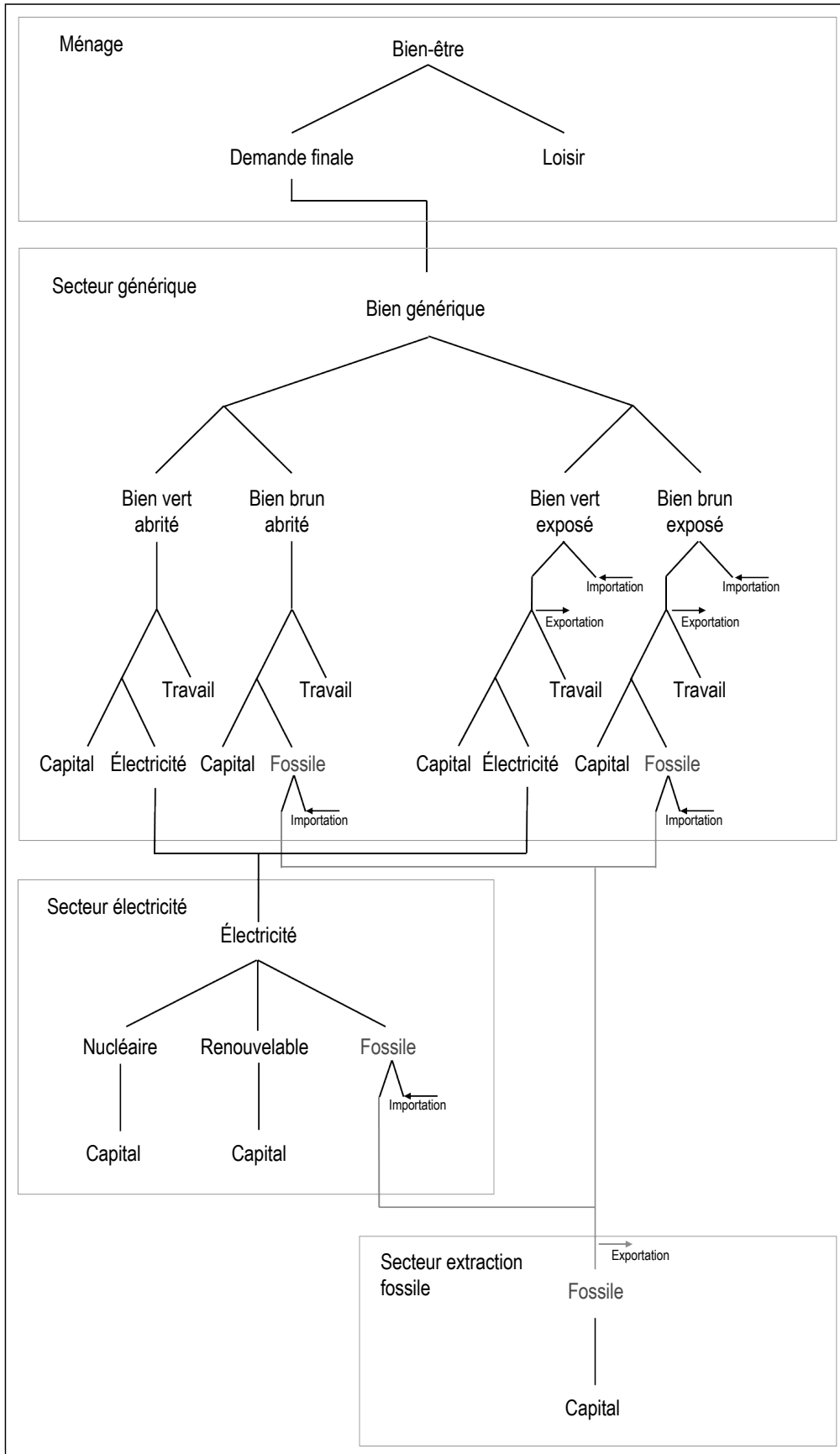
Ainsi, le découpage sectoriel retenu permet de rendre compte des principaux mécanismes de la transition énergétique : 1) la baisse des consommations énergétiques lorsque le prix de l'énergie se renchérit, notamment du fait de politiques de tarification du carbone ; 2) l'électrification de l'économie via la substitution de l'énergie électrique aux énergies fossiles ; 3) la décarbonation du mix électrique par la montée en puissance des énergies renouvelables³.

Vulcain est un modèle d'équilibre général calculable. La structure du modèle repose sur des fonctions d'utilité et de production de type CES (*Constant Elasticity of Substitution*) imbriquées, que les agents maximisent, sous contrainte de budget pour les ménages, et sous contrainte de technologie de production pour les entreprises. Ce cadre analytique walrassien garantit l'existence d'un équilibre ainsi que

2. Étant entendu qu'en réalité, il en existe un continuum, caractérisés par des niveaux d'exposition à la concurrence internationale et des contenus en carbone extrêmement variés.

3. Ces trois mécanismes peuvent être mis en regard, dans une certaine mesure, de ceux identifiés par Mahfouz & Pisani-Ferry (2022) : la modération des usages et des consommations, la substitution du capital à des combustibles fossiles (conséquence de l'électrification), la redirection du progrès technique vers les énergies non carbonées et l'efficacité énergétique.

Figure 1 – Structure globale du modèle Vulcain par région



son unicité. À l'équilibre, l'offre est égale à la demande sur chaque marché, les facteurs de production sont rémunérés à leur productivité marginale. Dans chaque secteur les entreprises d'une région donnée sont supposées se trouver en situation de concurrence parfaite, de sorte que les profits après rémunération des facteurs sont nuls. Les facteurs de production primaires (capital et travail) sont considérés comme parfaitement mobiles entre secteurs, mais ne sont pas mobiles entre régions. La balance commerciale de chaque région est équilibrée en valeur, mais elle peut connaître des variations en volume. Les principales taxes existantes (fiscalité sur les revenus du travail et du capital, taxes énergétiques et TVA) sont modélisées, et les recettes générées sont entièrement reversées forfaitairement aux ménages. Enfin seul le CO₂ issu de la combustion de produits fossiles est modélisé. Il est émis à chaque fois qu'une unité de produit fossile est consommée dans le modèle, que ce soit directement par une entreprise ou afin de produire de l'électricité. Ce jeu d'hypothèses est courant pour un modèle d'équilibre général calculable, et convient bien à une modélisation de nature stylisée. Il n'a pas vocation à représenter parfaitement le fonctionnement d'une économie réelle, mais permet de conserver une compréhension simple des principaux mécanismes à l'œuvre. Par ailleurs ces hypothèses, en particulier l'absence de rigidité intersectorielle des facteurs de production et la fixation en valeur de la balance commerciale, sont cohérentes avec la modélisation d'équilibres de moyen ou de long terme. La structure productive globale du modèle pour chaque région est représentée dans la figure I, et plus en détails dans l'Annexe en ligne (lien de l'Annexe en ligne à la fin de l'article), de même que les choix faits pour le calibrage des données économiques de l'équilibre initial ainsi que des paramètres structurants du modèle.

2. Tarification du carbone et subventions vertes utilisées isolément

Nous commençons par présenter les effets des deux mesures prises séparément dans l'Union européenne. La tarification du carbone est modélisée par un marché de quotas d'émissions, appliqués à l'ensemble de l'économie. Ceci permet de fixer une cible d'émissions à atteindre, en laissant le prix du carbone sur le marché se déterminer de manière endogène. Ce marché de quotas s'ajoute à la fiscalité d'accise préexistante dans le secteur abrité, qui demeure inchangée. Les recettes de tarification sont par défaut reversées aux ménages de manière forfaitaire,

afin de favoriser l'acceptabilité sociale de la mesure. Les subventions vertes sont quant à elles modélisées par une baisse de la fiscalité appliquée aux revenus du capital vert, destinée à favoriser les investissements dans des modes de production décarbonés. Cette mesure simule le choix de certains États d'accorder d'importantes subventions aux producteurs d'énergie décarbonée ou de véhicules électriques.

Par souci de symétrie avec la tarification du carbone, les subventions vertes sont ici financées par une contribution forfaitaire des ménages⁴. Dans les deux cas, la mesure n'est appliquée qu'au sein de l'UE, afin de se placer dans la situation crédible d'une absence de coopération internationale. Les cas de coopération sont étudiés dans la partie 4.

Les simulations sont effectuées en statique comparative, c'est-à-dire à facteurs de production primaires et niveaux de productivité fixés. Dans ce cadre d'analyse représentant le moyen terme, les effets bénéfiques à long terme de la réduction des émissions de GES, en lien avec la limitation de la hausse de la température atmosphérique, ne sont pas encore visibles. Il en ressort que les politiques de réduction des émissions de GES apparaissent ici comme coûteuses, car il s'agit d'un effort que doit produire l'économie à moyen terme afin de se décarboner, et dont les bénéfices ne seront observables que dans une temporalité plus longue.

2.1. La tarification du carbone bien plus efficace que les subventions vertes

Quelle que soit la mesure utilisée, la réduction des émissions de carbone de l'UE comporte donc un coût macroéconomique, lié à l'introduction d'une distorsion par rapport à la situation économique initiale (figure II). En effet, la tarification du carbone renchérit le coût des intrants énergétiques fossiles dans la production, et réduit donc les capacités de production de l'UE, ainsi que la compétitivité des industries européennes face à la concurrence étrangère. Le coût économique marginal est ainsi de plus en plus élevé à mesure que l'on abaisse le plafond d'émissions, car il devient de plus en plus difficile de décarboner la production une fois passés les principaux gisements d'économies d'énergie. Ainsi, une réduction de 5 % des émissions de l'UE via une tarification du carbone induit une perte de 0,07 point de PIB en volume, tandis

4. Cette contribution forfaitaire vient en déduction du transfert forfaitaire au ménage issu des recettes des taxes présentes dans le modèle (fiscalité sur les revenus du travail, du capital, fiscalité sur l'énergie et TVA).

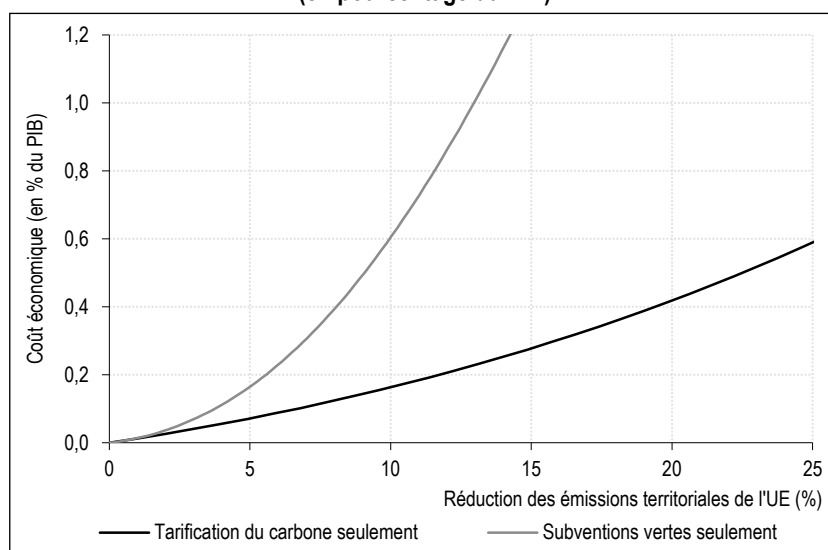
qu'une réduction de 25 % implique une perte de 0,59 point de PIB et génère des recettes publiques équivalentes à 1,2 point de PIB. La perte de capacités de production affecte les revenus des ménages via une baisse des salaires et de la rémunération du capital, et ce faisant réduit la demande finale, qui diminue de près de 0,5 % en volume dans un scénario de réduction d'un quart des émissions de l'UE. Qui plus est, dans ce même scénario les exportations de l'UE en volume chutent de 2,2 %, tandis que les importations baissent plus modestement de 1,5 %, conduisant à une dégradation de la balance commerciale.

Quant aux subventions vertes, elles permettent certes d'augmenter la rentabilité et la compétitivité des entreprises du secteur vert, mais au prix d'une distorsion économique vis-à-vis du secteur brun. À moyen terme, c'est-à-dire sans prendre en compte les bienfaits environnementaux de long terme de ces changements de comportement, l'incitation déployée par les subventions vertes conduit les acteurs privés à s'éloigner de la situation la plus productive. Qui plus est, la baisse de fiscalité est financée via une diminution des revenus nets des ménages, ce qui freine leur consommation et leur épargne. Par ailleurs, le coût économique marginal de la mesure augmente de plus en plus fortement à mesure que l'on s'efforce de réduire les émissions de carbone à l'aide de ce seul mécanisme. Ainsi, une réduction de 2,5 % des émissions de l'UE obtenue via des subventions vertes a un coût économique de 0,05 point de PIB en

volume, tandis qu'une réduction de 5 % a un coût économique de 0,17 point de PIB et représente un effort budgétaire équivalent à 2 points de PIB. Néanmoins, la balance commerciale européenne s'améliore légèrement, les exportations augmentant dans le dernier cas de 0,2 % en volume, tandis que les importations sont stables. La réduction de la fiscalité du capital vert rend en effet les entreprises européennes plus compétitives sur le marché des biens verts, mais la distorsion introduite par les subventions vertes pénalise la production totale de l'économie européenne, et affecte par conséquent l'ensemble des échanges commerciaux.

À réduction des émissions donnée, les subventions vertes ont un impact économique nettement plus négatif que les politiques de tarification du carbone, et cet écart s'accroît à mesure qu'augmente l'ambition climatique. Une réduction de 5 % des émissions de l'UE obtenue via une tarification du carbone correspond ainsi à un coût marginal de réduction des émissions de 57 € par tonne de CO₂ évitée, contre 206 € par tonne de CO₂ évitée dans le cas des subventions vertes. En ciblant directement les émissions sans prescrire la manière de les réduire, la tarification du carbone laisse aux agents économiques plus de latitude pour les réduire de la manière la moins coûteuse possible. Elle s'avère donc nettement moins distorsive qu'une politique cherchant à augmenter à marche forcée les investissements verts sans garantie qu'il s'agisse-là de la façon la moins coûteuse de réduire les émissions. Ce résultat est déjà bien identifié par la littérature

Figure II – Comparaison du coût économique des deux dispositifs utilisés isolément (en pourcentage du PIB)



Lecture : la réduction de 5 % des émissions territoriales de CO₂ de l'UE via un mécanisme de tarification du carbone engendre une perte de 0,07 % du PIB européen. La même réduction obtenue via des subventions vertes conduit à une perte de 0,17 % du PIB.
Source : modèle Vulcain du CGDD.

économique (Fischer & Preonas, 2010 ; Kalkuhl *et al.*, 2013 ; Goulder & Parry, 2008 ; Baranzini *et al.*, 2017), comme nous l'avons indiqué en introduction.

2.2. La tarification du carbone active davantage de canaux de décarbonation

Les effets agrégés masquent des évolutions de plus grande ampleur sur la composition de la production et des échanges commerciaux européens. Le tableau désagrège ces évolutions au niveau des secteurs dans le cas d'une baisse de 5 % des émissions territoriales de l'UE. Les deux mesures ont pour effet de réorienter la production européenne des secteurs bruns vers les secteurs verts, mais cette recomposition est particulièrement forte dans le cas des subventions vertes. Ceci illustre bien par quels mécanismes chacune des mesures parvient à réduire les émissions. Dans le cas des subventions vertes, la décarbonation de l'économie est majoritairement opérée via un basculement des secteurs bruns vers les secteurs verts, et minoritairement en décarbonant chaque type de secteur. À l'inverse, la tarification du carbone vise à inciter l'ensemble de l'économie à se décarboner, et mobilise d'abord le levier de décarbonation de chaque type de secteur, puis celui du basculement entre secteurs bruns et verts.

Les subventions vertes induisent une réallocation du capital des secteurs bruns vers les secteurs verts, et en particulier dans les secteurs énergétiques. Le secteur de production d'électricité est favorisé, tandis que le secteur d'extraction de produits fossiles voit sa production fondre, laquelle doit être compensée par une hausse des importations de combustibles.

Au global les subventions vertes apparaissent donc comme une solution peu pertinente. Une

utilisation limitée de ces subventions peut cependant se justifier en complément de la tarification du carbone s'il existe des distorsions défavorables aux investissements verts. En particulier, on peut se demander si le recours aux subventions vertes comme mesure complémentaire à la tarification du carbone ne pourrait pas se justifier dans un contexte où le reste du monde ne fournit pas un effort climatique équivalent.

3. Combinaison des deux dispositifs

Nous simulons à présent la mise en œuvre d'une combinaison des deux mesures au sein de l'Union européenne. En effet, à l'inverse de la tarification du carbone, les subventions vertes représentent une dépense pour les États, de sorte qu'une complémentarité entre les deux mesures peut être envisagée en utilisant une partie des recettes de tarification du carbone pour financer des subventions vertes. Nous simulons à présent les effets d'un mécanisme de tarification du carbone appliqué à l'ensemble de l'UE dans le but de réduire de 25 % ses émissions territoriales. Comme précédemment, cette tarification prend la forme d'un système de quotas d'émissions appliqué à l'ensemble de l'économie européenne. Cependant, une partie des recettes fiscales générées par cette tarification peut désormais être mobilisée afin de financer des subventions vertes, le reste étant toujours reversé forfaitairement aux ménages⁵. Nous faisons varier la part des recettes allouée aux subventions vertes de 0 % à 100 %. Dans cette partie l'effort climatique est toujours

5. À niveau d'émissions donné, le recyclage des recettes de la tarification du carbone via des subventions vertes permet en outre de réduire légèrement le niveau de tarification nécessaire, dans la mesure où une partie de la réduction des émissions est effectuée grâce aux subventions vertes. Ce mécanisme économique a été identifié par la Commission de haut niveau sur le prix du carbone (Stiglitz *et al.*, 2017).

Tableau – Comparaison des effets économiques des deux dispositifs utilisés isolément pour réduire les émissions de CO₂ de 5 %

		Tarification du carbone (%)	Subventions vertes (%)
Émissions territoriales	Secteurs bruns	-3,26	-5,47
	Secteur électrique	-12,64	-2,93
	Total	-5,00	-5,00
Valeur ajoutée ⁽¹⁾	Secteurs bruns	-0,42	-6,18
	Secteurs verts	+0,33	+8,14
	Électricité	+5,43	+16,80
	Extraction de fossile	-3,64	-48,22
	Total	-0,07	-0,17

⁽¹⁾ en volume.

Lecture : une réduction de 5 % des émissions territoriales de CO₂ de l'UE obtenue uniquement via un mécanisme de tarification du carbone engendre une baisse de 3,26 % des émissions des secteurs bruns et de 0,42 % de leur valeur ajoutée.

Source : modèle Vulcain du CGDD.

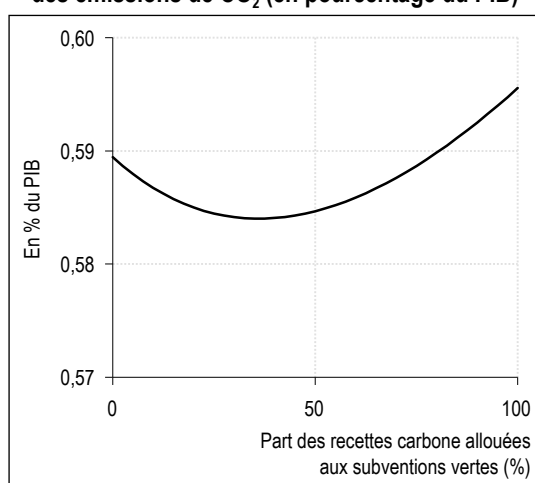
supposé être porté par l'UE uniquement. Les cas de coopération internationale sont étudiés dans la partie 4.

3.1. Existence d'un optimum intérieur

L'effet macroéconomique du choix d'allocation des recettes apparaît comme plutôt secondaire en comparaison de l'effet premier de l'instauration d'une tarification du carbone (figure III). Ainsi, quel que soit le choix d'allocation, le coût macroéconomique de la réduction d'un quart des émissions de l'UE se situe dans une fourchette relativement étroite aux alentours de -0,6 point de PIB. Néanmoins, il existe un optimum économique, c'est-à-dire une moindre baisse du PIB, pour un régime d'allocation intermédiaire : environ 40 % des recettes reversées sous forme de subventions vertes et 60 % reversées forfaitairement aux ménages⁶. En effet, le coût macroéconomique marginal de réduction des émissions est de 131,2 € par tonne de CO₂ évitée lorsque l'ensemble des recettes carbone sont reversées aux ménages, et de 133,7 € par tonne lorsqu'elles sont entièrement dépensées sous forme de subventions vertes, contre 130,1 € par tonne lorsque 40 % des recettes sont allouées sous forme de subventions vertes. Il semble donc pertinent du point de vue de l'efficacité économique d'associer tarification du carbone et subventions vertes.

Cette pertinence de l'utilisation conjointe est la résultante de deux phénomènes de sens opposés. D'un côté, comme étudié précédemment, la

Figure III – Coût économique d'une combinaison des deux dispositifs, pour une réduction de 25 % des émissions de CO₂ (en pourcentage du PIB)



Lecture : lorsque 80 % des recettes sont reversées sous forme de subventions vertes, et le reste directement distribuées aux ménages, un mécanisme de tarification du carbone permettant de réduire d'un quart les émissions de CO₂ de l'UE a un coût macroéconomique de 0,59 % du PIB pour l'UE.

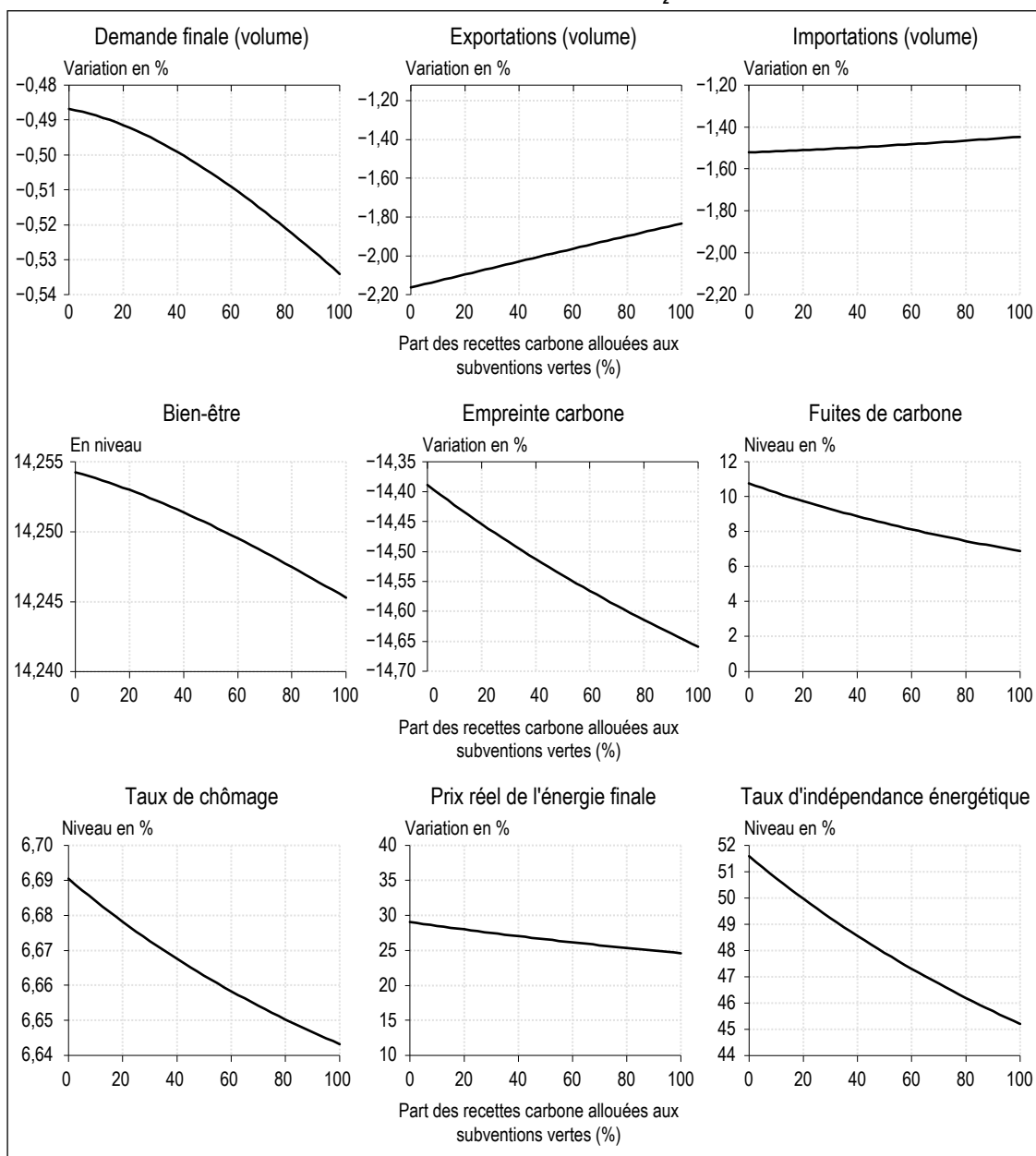
Source : modèle Vulcain du CGDD.

demande finale se dégrade de plus en plus à mesure que l'on distord les équilibres économiques par une baisse de fiscalité du capital vert et que les revenus des ménages sont ponctionnés afin d'encourager des investissements de moins en moins productifs. Ainsi, lorsque l'ensemble des recettes sont reversées aux ménages, la demande finale baisse de 0,49 % en volume, contre 0,50 % lorsque 40 % des recettes servent à des subventions vertes, et 0,53 % lorsque l'ensemble des recettes sont mobilisées à cette fin (figure IV). De l'autre côté, nous avons déjà vu que les subventions vertes ont un effet positif sur la balance commerciale de l'UE en volume, en permettant aux entreprises européennes du secteur vert de devenir plus compétitives et en réduisant le budget que les ménages peuvent consacrer à des importations. Ce bénéfice est cependant de plus en plus fortement décroissant à mesure que le niveau des subventions augmente. Ainsi, lorsque toutes les recettes provenant des taxes carbone sont reversées aux ménages, la balance commerciale se dégrade à hauteur de 0,103 point de PIB en volume, contre 0,085 point de PIB avec 40 % de recettes affectées à des subventions vertes, et 0,062 point de PIB lorsque l'ensemble des recettes sont utilisées à cette fin.

C'est le croisement de ces deux courbes, celle concave et décroissante de la demande finale, et celle concave et croissante de la balance commerciale, qui aboutit à l'existence d'un optimum intérieur en matière de PIB. Il correspond à un équilibre dans lequel les subventions vertes permettent aux entreprises européennes d'être compétitives pour répondre à la demande accrue des consommateurs européens pour des biens verts suite à la mise en œuvre d'une tarification du carbone. Cet optimum permet à l'économie européenne d'éviter un double écueil. Dans le cas de recettes entièrement mobilisées pour financer des subventions vertes, les entreprises du secteur vert européen sont très compétitives grâce à la baisse de la fiscalité sur leur capital. Mais les consommateurs européens voient leur budget amputé par la tarification du carbone, sans toutefois en récupérer les recettes, et la demande intérieure est donc affaiblie sans que les débouchés trouvés sur le marché extérieur ne soient une compensation suffisante. À l'inverse, lorsque l'ensemble des recettes sont reversées aux ménages, les consommateurs européens ont une capacité de consommation préservée, mais cette demande intérieure va être en bonne partie satisfaite par des importations en provenance de

6. Des analyses de sensibilité de ce résultat sont présentées en annexe.

Figure IV – Effets économiques d'une combinaison des deux dispositifs, pour une réduction de 25 % des émissions de CO₂



Lecture : lorsque l'UE réduit de 25 % ses émissions de CO₂ via un mécanisme de tarification du carbone et que 50 % des recettes sont reversées sous forme de subventions vertes, et le reste distribué forfaitairement aux ménages, l'empreinte carbone de l'UE se réduit de 14,54 %, le taux de chômage atteint 6,66 % et le prix réel de l'énergie finale augmente de 26,6 %.
Source : modèle Vulcain du CGDD.

pays étrangers n'appliquant pas de tels niveaux de tarification du carbone.

3.2. Des effets contrastés selon les indicateurs économiques et environnementaux

Le choix d'allocation des recettes de la tarification du carbone a des conséquences contrastées sur les émissions mondiales de carbone, sur l'acceptabilité sociale pour les ménages et sur les marchés de l'énergie.

Malgré ses effets potentiellement positifs sur le PIB, le recours aux subventions vertes induit toutefois une baisse du bien-être (mesuré comme un agrégat des volumes de demande finale et de loisir, cf. figure I), et ce même lorsqu'elles sont utilisées à des niveaux faibles. Les subventions vertes conduisent en effet indirectement à une baisse du pouvoir d'achat vis-à-vis des pays étrangers, en lien avec un affaiblissement du taux de change. La balance commerciale et l'activité industrielle sont certes préservées en volume, mais le maintien de la compétitivité

se fait à travers une baisse du prix des exportations et un renchérissement concomitant du prix des importations. La capacité des ménages à consommer s'en trouve donc réduite, et ce même en cas de bonne tenue du PIB.

En outre les subventions vertes apparaissent comme néfastes pour l'indépendance énergétique de l'UE. Le taux d'indépendance énergétique de l'UE, c'est-à-dire le ratio entre la production et la consommation intérieure d'énergie primaire, atteint près de 52 % suite à l'introduction du mécanisme de tarification du carbone, contre 43 % initialement. Lorsque les recettes de la tarification sont entièrement mobilisées pour des subventions vertes, le taux d'indépendance énergétique européen chute à 45 %, soit un niveau proche de la situation initiale. Cela s'explique par une réduction de plus de 40 % du volume de combustibles fossiles extraits du sol de l'UE, en raison de la reconversion des capitaux dédiés à l'extraction vers les énergies vertes. Ainsi, choisir de reverser les recettes de tarification du carbone aux ménages est bénéfique pour leur pouvoir d'achat et pour l'indépendance énergétique de l'Union européenne.

À l'inverse, reverser les recettes sous forme de subventions vertes permet de réduire les fuites de carbone, c'est-à-dire d'éviter qu'une partie des émissions réduites sur le territoire de l'UE ne soient déplacées vers d'autres pays, notamment en raison de délocalisations d'usines. Ainsi lorsque l'ensemble des recettes sont reversées directement aux ménages, le taux de fuites de carbone s'élève à près de 11 %, ce qui signifie que 11 % des baisses d'émissions obtenues sur le territoire de l'UE sont compensées par des hausses d'émissions dans le reste du monde. Ce taux est réduit à 7 % dans le cas d'une allocation intégrale des recettes aux subventions vertes. En effet, les subventions vertes permettent de préserver le tissu industriel européen en stimulant la production du secteur vert. À mesure que l'on augmente les subventions vertes, les industries du secteur vert européen vont donc gagner des parts de marché localement ainsi qu'à l'étranger, réduisant ainsi les délocalisations, tandis que la diminution de la consommation locale conduit à une baisse des importations de biens carbonés produits à l'étranger. Par conséquent, les subventions vertes permettent de réduire non seulement les fuites de carbone mais aussi l'empreinte carbone de l'UE.

De plus les subventions vertes permettent de limiter la hausse du prix réel de l'énergie finale. Cette hausse, de 29,1 % lorsque les recettes sont

entièrement reversées aux ménages, est abaissée à 24,6 % lorsque les recettes sont entièrement mobilisées pour financer des subventions vertes. En effet, les subventions vertes permettent de réduire le recours à la tarification du carbone pour réduire les émissions, et aussi de financer le développement des énergies renouvelables à des coûts très compétitifs de sorte que le prix de production de l'énergie hors taxes diminue.

Enfin les subventions vertes sont bénéfiques pour l'emploi grâce au maintien des activités industrielles. C'est même via ce maintien de l'emploi qu'elles déploient une majeure partie de leurs effets positifs sur le PIB. En effet, en effectuant des simulations dans lesquelles la quantité totale de travail fournie par l'économie européenne est fixée, cet optimum intermédiaire sur le PIB disparaît. Nous voyons donc que, malgré ses effets négatifs sur le pouvoir d'achat des ménages et sur l'indépendance énergétique, le recours aux subventions vertes n'est pas dénué d'avantages. D'une part il permet, dans les situations de non-coopération climatique, de réduire la quantité totale d'émissions de carbone à l'échelle planétaire. D'autre part, il peut favoriser l'acceptabilité sociale de la tarification du carbone en limitant la hausse du prix de l'énergie et en préservant les emplois industriels. Ceci rejoint et complète les résultats de plusieurs enquêtes ayant démontré que les mesures de subventions vertes ont une meilleure acceptabilité sociale que celles recourant à la tarification du carbone (Abou-Chadi *et al.*, 2024 ; Leiserowitz *et al.*, 2010 ; Mahmoodi *et al.*, 2018). En particulier, Douenne & Fabre (2020) ont montré que la tarification du carbone obtient de bons niveaux d'adhésion si les recettes sont utilisées pour financer les transports publics (64 % d'avis favorables), les énergies renouvelables (59 %) ou la rénovation thermique des bâtiments (56 %). En revanche les mesures les plus forfaitaires semblent susciter moins d'adhésion : paiement forfaitaire uniforme (38 %), réduction du déficit public (44 %), ciblage sur les 50 % les plus modestes (45 %).

4. Coopération internationale

Nous analysons désormais les scénarios dans lesquels le reste du monde (hors UE) fait également un effort climatique, en introduisant son propre mécanisme de tarification du carbone. Pour simplifier, nous étudierons tour à tour les deux cas polaires dans lesquels le reste du monde mobilise respectivement 0 % et 100 % des recettes de tarification afin de mettre en place des subventions vertes (la part complémentaire étant redistribuée forfaitairement aux ménages), tandis

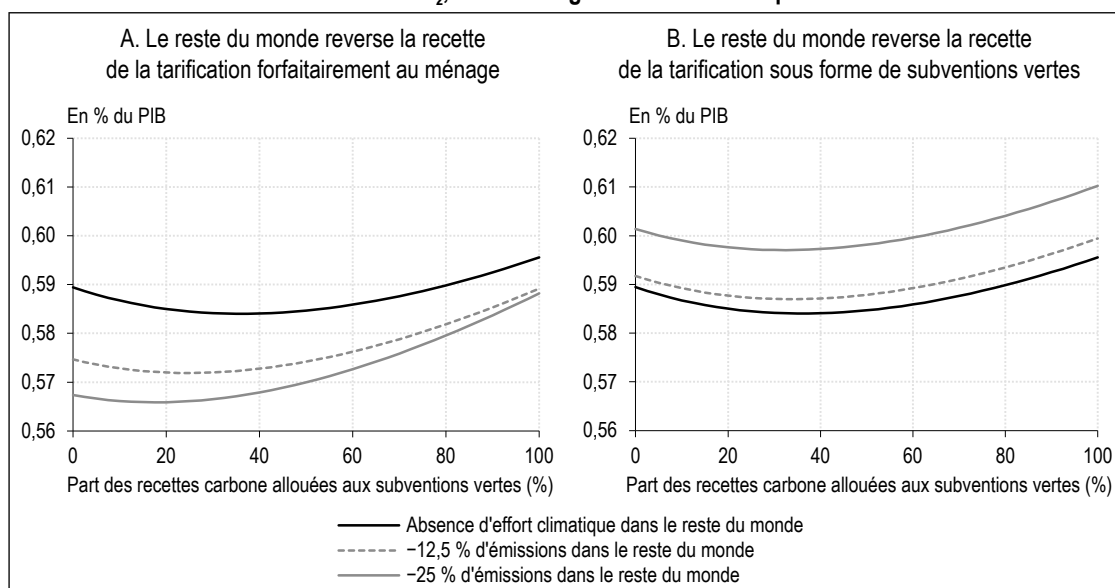
que nous continuons à faire évoluer la part des recettes carbone de l'UE mobilisées sous forme de subventions vertes continûment de 0 % à 100 % (la part complémentaire étant comme précédemment redistribuée forfaitairement aux ménages).

Lorsque le reste du monde redistribue l'intégralité des recettes de tarification du carbone aux ménages, l'effort climatique qu'il réalise a des effets économiques immédiatement bénéfiques pour l'UE. Une réduction de 12,5 % des émissions dans le reste du monde permet ainsi de réduire le coût macroéconomique pour l'UE de son propre effort climatique de près de 0,59 point de PIB à moins de 0,58 point de PIB (figure V). Ce coût est réduit à moins de 0,57 point de PIB lorsque le reste du monde diminue ses émissions territoriales de 25 %. Cet effet positif pour l'UE est essentiellement lié à la réduction des fuites de carbone et des pertes de compétitivité qui y sont liées. Quand le reste du monde fait un effort climatique important, voire équivalent à celui de l'UE, il n'y a plus pour les industries autant d'avantages à délocaliser leur production hors de l'UE. Pour cette même raison, il est de moins en moins utile de recourir aux subventions vertes à mesure que l'effort climatique du reste du monde augmente. Ainsi, quand l'UE et le reste du monde réduisent leurs émissions dans des proportions semblables, l'optimum en matière de PIB est de mobiliser seulement

20 % des recettes de tarification du carbone pour financer des subventions vertes, contre 40 % en l'absence d'effort climatique du reste du monde. L'UE peut ainsi toujours espérer conquérir des parts de marché à l'export sur le marché des biens verts, mais le besoin de se protéger des délocalisations se fait nettement moins sentir.

À l'inverse, si le reste du monde mobilise l'ensemble de ses recettes de tarification du carbone afin de financer des subventions vertes, alors les efforts climatiques du reste du monde ont à moyen terme un impact négatif sur l'économie européenne. De fait, plus la tarification du carbone mise en œuvre dans le reste du monde est élevée, et plus le reste du monde disposera de recettes importantes pour réduire la fiscalité des entreprises de son secteur vert. Ainsi, paradoxalement, la concurrence à laquelle fait face l'UE dans le secteur des biens verts est d'autant plus forte quand le reste du monde relève ses niveaux de tarification du carbone tout en utilisant les recettes pour financer des subventions vertes. On observe dans ce scénario que les effets bénéfiques liés à l'élimination des fuites de carbone sont plus que compensés par cette concurrence fiscale exacerbée. Il y a alors à nouveau un optimum pour l'UE au niveau du PIB lorsqu'environ 40 % des recettes de tarification sont reversées sous forme de subventions vertes afin de se protéger de cette concurrence fiscale.

Figure V – Coût économique d'une combinaison des deux dispositifs, pour une réduction de 25 % des émissions de CO₂, selon le degré d'action climatique du reste du monde



Lecture : lorsque 40 % des recettes sont reversées sous forme de subventions vertes, et le reste distribué forfaitairement aux ménages, un mécanisme de tarification du carbone permettant de réduire d'un quart les émissions de CO₂ de l'UE a un coût macroéconomique de 0,59 % du PIB lorsque le reste du monde ne fait pas d'effort climatique. Ce coût est réduit à 0,57 % du PIB lorsque le reste du monde réduit également d'un quart ses émissions territoriales en reversant les recettes de sa propre tarification du carbone aux ménages. Il est augmenté à 0,60 % du PIB lorsque le reste du monde réduit également d'un quart ses émissions territoriales mais en reversant les recettes de sa propre tarification du carbone sous forme de subventions vertes.

Source : modèle Vulcain du CGDD.

Nous voyons donc que, même lorsque les pays coopèrent pour réduire leurs émissions de carbone, il est possible d'observer une forme de non-coopération sur la manière de faire cette décarbonation. La situation se rapporte alors à une forme de dilemme du prisonnier : la situation économique des différentes régions du monde serait meilleure si aucun pays ne mettait en place de subventions vertes, mais chaque région a un avantage à mettre en place unilatéralement ce type de politiques. Qui plus est, l'instauration de subventions vertes ailleurs dans le monde incite chaque région à relever toujours davantage ses propres niveaux de subventions. L'existence de cet équilibre concurrentiel sous-optimal porte un risque de fragilisation de la coopération climatique et de perte d'efficacité dans la transition énergétique à l'échelle mondiale. Une proposition telle que la mise en œuvre d'un club climat (Nordhaus, 2015), appliqué non seulement au niveau de tarification du carbone mais aussi à la manière d'en utiliser les recettes, pourrait fournir une solution intéressante à ce type de non-coopération.

* *
*

La mobilisation d'un modèle d'équilibre général stylisé a permis de mettre en évidence un certain nombre de résultats quant à la pertinence des subventions vertes et à la place à leur accorder dans la conception des politiques de réduction des émissions de carbone. Bien qu'elles soient peu efficaces utilisées seules, introduire une quantité limitée de subventions vertes serait une mesure potentiellement utile en complément de la tarification du carbone. En particulier, les subventions vertes sont susceptibles de protéger les emplois industriels du risque de délocalisation et d'augmenter l'acceptabilité sociale de la tarification du carbone en limitant le renchérissement du prix de l'énergie.

Ainsi, tandis que la tentation pour les décideurs est forte de recourir massivement à des subventions vertes plutôt qu'à des mesures plus impopulaires pesant sur les émissions de carbone, nous avons vu que celles-ci ont

effectivement toute leur place dans la politique climatique, mais à condition de demeurer limitées dans leur étendue et complémentaires d'une tarification suffisante du carbone. Par ailleurs, afin d'éviter la concurrence fiscale néfaste entre États que ces subventions vertes ont tendance à exacerber, leur juste niveau pourrait faire l'objet de discussions internationales. À défaut de cela, le recours massif et unilatéral aux subventions vertes risque de dégénérer en une forme de guerre commerciale, comme l'ont illustré récemment les débats autour de l'*Inflation reduction act* américain et des véhicules électriques produits en Chine.

Trois limites de l'analyse sont toutefois à mentionner. Premièrement, le capital est considéré comme parfaitement mobile entre secteurs, et notamment entre les activités vertes et brunes. Ceci ne permet pas de rendre compte des difficultés que pourrait rencontrer à court terme l'économie pour effectuer sa transition énergétique, et notamment la problématique posée par les actifs échoués du secteur brun, c'est-à-dire les actifs mis au rebut avant leur dépréciation économique complète. Deuxièmement, ces simulations ne prennent pas en compte les potentiels effets de taille critique du marché ni le progrès technique endogène. Il peut en effet exister une concurrence forte entre États pour essayer d'attirer l'ensemble d'une filière industrielle sur leur territoire, générant ainsi pour cette filière des rendements d'échelle et des co-bénéfices technologiques. Cet enjeu est susceptible de contribuer dans la réalité à une concurrence exacerbée dans l'allocation des subventions vertes. Troisièmement, ces simulations en statique comparative ne font pas évoluer la quantité totale de capital disponible dans l'économie. Par conséquent, les mécanismes de subventions vertes donnent lieu à un effet d'éviction total dans lequel les investissements verts se font au détriment des investissements bruns. Dans les faits, un abaissement de la fiscalité du capital vert est susceptible d'augmenter l'épargne et les investissements au détriment de la consommation, ou d'attirer des investissements étrangers en augmentant la rentabilité attendue du capital. Cette limite nous conduit à sous-estimer l'intérêt du recours aux subventions vertes. □

Lien vers l'Annexe en ligne :

www.insee.fr/fr/statistiques/fichier/8561911/ES545_Abbas-et-al_Annexe_en_ligne.pdf

BIBLIOGRAPHIE

- 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. <https://doi.org/10.24187/ecostat.2024.544.2121>
- Abou-Chadi, T., Jansen, J., Kollberg, M. & Redeker, N. (2024).** Debunking the Backlash-Uncovering European Voters' Climate Preferences. Hertie School, *Policy Brief*. <https://www.delorscentre.eu/en/publications/detail/publication/debunking-the-backlash-uncovering-european-voters-climate-preferences>
- Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L. & Hemous, D. (2012).** The environment and directed technical change. *American Economic Review*, 102(1), 131–166. <https://doi.org/10.1257/aer.102.1.131>
- Alestra, C., Cette, G., Chouard, V. & Lecat, R. (2020).** Long-term growth impact of climate change and policies: The Advanced Climate Change Long-Term (ACCL) scenario building model. Banque de France, *Working Paper Series* N° 759. <https://publications.banque-france.fr/sites/default/files/medias/documents/wp759.pdf>
- Baranzini, A., Van den Bergh, J. C., Carattini, S., Howarth, R. B., Padilla, E. & Roca, J. (2017).** Carbon pricing in climate policy: seven reasons, complementary instruments, and political economy considerations. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 8(4), e462. <https://doi.org/10.1002/wcc.462>
- Berry, A. (2017).** Compensating households from carbon tax regressivity and fuel poverty: A microsimulation study. FAERE, *Policy Paper*, 2017-08. https://faere.fr/pub/PolicyPapers/Berry_FAERE_PP2017_08.pdf
- Blanchet, D. & Pesme, C. (2024).** Costs and Co-Benefits of Climate Transition Policies: How Accurately Will They Be Measured by Standard of Living and Well-Being Indicators? *Economie et Statistique / Economics and Statistics*, 543, 3–20. <https://doi.org/10.24187/ecostat.2024.543.2116>
- Branger, F. & Quirion, P. (2014).** Would border carbon adjustments prevent carbon leakage and heavy industry competitiveness losses? Insights from a meta-analysis of recent economic studies. *Ecological Economics*, 99, 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.12.010>
- Carbone, J. C. & Rivers, N. (2017).** The Impacts of Unilateral Climate Policy on Competitiveness: Evidence From Computable General Equilibrium Models. *Review of Environmental Economics and Policy*, 11(1), 24–42. <https://doi.org/10.1093/reep/rew025>
- Carbone, J. C., Morgenstern, R. D., Williams III, R. C. & Burtraw, D. (2013).** Deficit reduction and carbon taxes: Budgetary, economic, and distributional impacts. *Resource for the Future Report*. <https://media.rff.org/documents/RFF-Rpt-Carbone.etal.CarbonTaxes.pdf>
- Château, J., Dellink, R. & Lanzi, E. (2014).** An overview of the OECD ENV-linkages model: version 3. OECD, *Environment Working Papers* N°65. <https://doi.org/10.1787/19970900>
- Dechezleprêtre, A., Fabre, A., Kruse, T., Planterose, B., Chico, A. S. & Stantcheva, S. (2022).** Fighting climate change: International attitudes toward climate policies. National Bureau of Economic Research, *Working Paper* N°30265. <https://doi.org/10.3386/w30265>
- Dechezleprêtre, A. & Sato, M. (2017).** The Impacts of Environmental Regulations on Competitiveness. *Review of Environmental Economics and Policy*, 11(2), 183–206. <https://doi.org/10.1093/reep/rex013>
- Decreux, Y. & Valin, H. (2007).** MIRAGE, updated version of the model for trade policy analysis: focus on agriculture and dynamics. TradeAG *Working Paper* N°07/7. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.7284>
- Douenne, T. (2020).** The vertical and horizontal distributive effects of energy taxes: A case study of a french policy. *The Energy Journal*, 41(3), 231–254. <https://doi.org/10.5547/01956574.41.3.tdow>
- Douenne, T. & Fabre, A. (2020).** French attitudes on climate change, carbon taxation and other climate policies. *Ecological Economics*, 169, 106496. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106496>
- Ederington, J., Levinson, A. & Minier, J. (2005).** Footloose and Pollution-Free. *The Review of Economics and Statistics*, 87(1), 92–99. <https://doi.org/10.1162/0034653053327658>
- Eichner, T. & Pethig, R. (2011).** Carbon leakage, the green paradox, and perfect future markets. *International Economic Review*, 52(3), 767–805. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2354.2011.00649.x>
- Fischer, C. & Preonas, L. (2010).** Combining policies for renewable energy: Is the whole less than the sum of its parts? *International Review of Environmental and Resource Economics*, 4(1), 51–92. <https://doi.org/10.1561/101.00000030>
- Germain, J.-M. & Lellouch, T. (2020).** The Social Cost of Global Warming and Sustainability Indicators: Lessons from an Application to France. *Economie et Statistique / Economics and Statistics*, 517-518-519, 81–102. <https://doi.org/10.24187/ecostat.2020.517t.2024>

- Gherzi, F. (2014).** The IMACLIM-P Model Version 3.4. CIRED, *Working Paper N°57-2014*.
<https://hal.science/hal-01691764/document>
- Goulder, L. H. (1995).** Effects of carbon taxes in an economy with prior tax distortions: an intertemporal general equilibrium analysis. *Journal of Environmental Economics and Management*, 29(3), 271–297.
<https://doi.org/10.1006/jeem.1995.1047>
- Goulder, L. H. & Parry, I. W. (2008).** Instrument choice in environmental policy. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2(2), 152–174. <https://doi.org/10.1093/reep/ren005>
- Jensen, S., Mohlin, K., Pittel, K. & Sterner, T. (2015).** An introduction to the green paradox: the unintended consequences of climate policies. *Review of Environmental Economics and Policy*, 9(2), 246–265.
<https://doi.org/10.1093/reep/rev010>
- Kalkuhl, M., Edenhofer, O. & Lessmann, K. (2013).** Renewable energy subsidies: Second-best policy or fatal aberration for mitigation? *Resource and Energy Economics*, 35(3), 217–234.
<https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2013.01.002>
- Kverndokk, S., Rosendahl, K. E. & Rutherford, T. F. (2004).** Climate policies and induced technological change: which to choose, the carrot or the stick? *Environmental and Resource Economics*, 27, 21–41.
<https://doi.org/10.1023/B:EARE.0000016787.53575.39>
- Leiserowitz, A., Maibach, E., Roser-Renouf, C. & Smith, N. (2010).** *Climate change in the American mind: Public support for climate & energy policies in June 2010*. Yale University and George Mason University. New Haven, CT: Yale Project on Climate Change Communication.
<https://resources.environment.yale.edu/climate-communication-OFF/files/PolicySupportJune2010.pdf>
- Mahfouz, S. & Pisani-Ferry, J. (2022).** L'action climatique : un enjeu macroéconomique. France Stratégie, *La note d'analyse N°114*. <https://www.strategie.gouv.fr/publications/laction-climatique-un-enjeu-macroeconomique>
- Mahmoodi, J., Prasanna, A., Hille, S., Patel, M. K. & Brosch, T. (2018).** Combining “carrot and stick” to incentivize sustainability in households. *Energy Policy*, 123, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.037>
- Metcalfe, G. E. (1999).** A Distributional Analysis of Green Tax Reforms. *National Tax Journal*, 52(4), 655–682.
<https://doi.org/10.1086/NTJ41789423>
- Nordhaus, W. (1993).** Optimal greenhouse-gas reductions and tax policy in the “DICE” model. *American Economic Review*, 83(2), 313–317. <https://www.jstor.org/stable/2117683>
- Nordhaus, W. (2015).** Climate clubs: Overcoming free-riding in international climate policy. *American Economic Review*, 105(4), 1339–1370. <https://doi.org/10.1257/aer.15000001>
- OCDE (2020).** *Climate Policy Leadership in an Interconnected World: What Role for Border Carbon Adjustments?* Paris: Éditions OCDE.
https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2020/12/climate-policy-leadership-in-an-interconnected-world_6ce58248/8008e7f4-en.pdf
- Pearce, D. (1991).** The role of carbon taxes in adjusting to global warming. *The Economic Journal*, 101(407), 938–948. <https://doi.org/10.2307/2233865>
- Reynes, F., Callonnet, G., Gouedard, H., Saussay, A., Landa, G., Malliet, P., Gueret, A. & Hu, J. (2013).** ThreeME Version 3-Multi-sector Macroeconomic Model for the Evaluation of Environmental and Energy policy. A full description. Paris: OFCE. <https://www.ofce.sciences-po.fr/pdf/documents/threeme/doc1.pdf>
- Schneider, S. H. & Goulder, L. H. (1997).** Achieving low-cost emissions targets. *Nature*, 389(6646), 13–14.
<https://doi.org/10.1038/37861>
- Stechemesser, A., Koch, N., Mark, E., Dilger, E., Klösel, P., Menicacci, L., Nachtigall, D., Pretis, F., Ritter, N., Schwarz, M., Vossen, H. & Wenzel, A. (2024).** Climate policies that achieved major emission reductions: Global evidence from two decades. *Science*, 385(6711), 884–892. <https://doi.org/10.1126/science.adl6547>
- Stiglitz, J. E., Stern, N., Duan, M., ... & Winkler, H. (2017).** *Report of the High-Level Commission on Carbon Prices*. <https://doi.org/10.7916/d8-w2nc-4103>
- Terkla, D. (1984).** The efficiency value of effluent tax revenues. *Journal of Environmental Economics and Management*, 11(2), 107–123. [https://doi.org/10.1016/0095-0696\(84\)90010-X](https://doi.org/10.1016/0095-0696(84)90010-X)
- Tullock, G. (1967).** Excess Benefit. *Water Resources Research*, 3(2), 643–644.
<https://doi.org/10.1029/WR003i002p00643>
- Van der Mensbrugge, D. (2008).** The environmental impact and sustainability applied general equilibrium (ENVISAGE) model. The World Bank, January.
<https://globalclimateactionpartnership.org/app/uploads/2015/09/ENVISAGE.pdf>

ANNEXE

ANALYSES DE SENSIBILITÉ DES RÉSULTATS AU CALIBRAGE

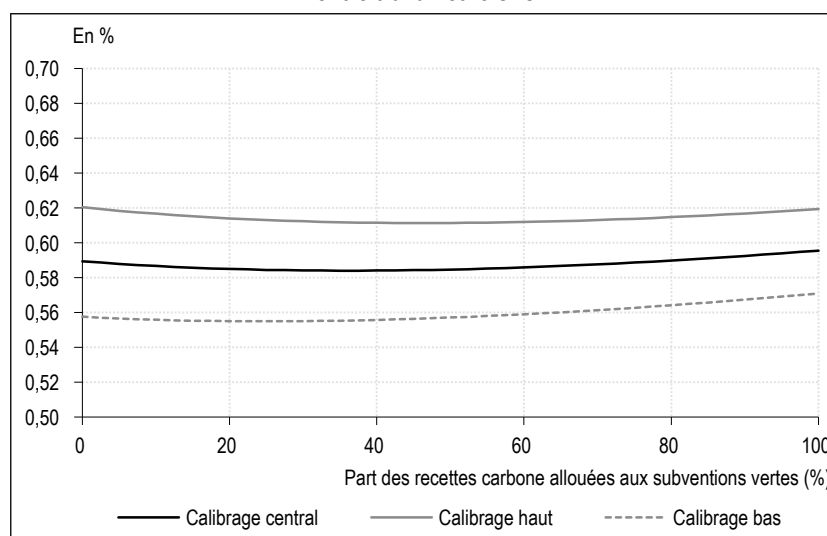
Une analyse de sensibilité du résultat principal de l'article est réalisée pour les différentes élasticités du modèle, réparties en quatre groupes :

- Élasticité de substitution de la fonction d'utilité des ménages, entre offre de travail et demande de loisirs ;
- Élasticités de substitution des nœuds supérieurs de la fonction de production du bien générique ;
- Élasticités de substitution entre l'énergie et le capital et entre formes d'énergie ;
- Élasticités de substitution d'Armington entre les biens étrangers et les biens produits domestiquement.

Pour chacun de ces groupes, le calibrage retenu pour les simulations est comparé à un calibrage haut, dans lequel les élasticités de substitution sont augmentées de 25 %, et un calibrage bas, dans lequel les élasticités de substitution sont réduites de 25 %. L'analyse de sensibilité est effectuée pour la figure principale de l'étude, c'est-à-dire la figure III illustrant le coût macroéconomique d'une réduction de 25 % des émissions territoriales de l'UE obtenue via un mécanisme de tarification du carbone, en statique comparative et lorsque le reste du monde ne produit pas d'effort climatique.

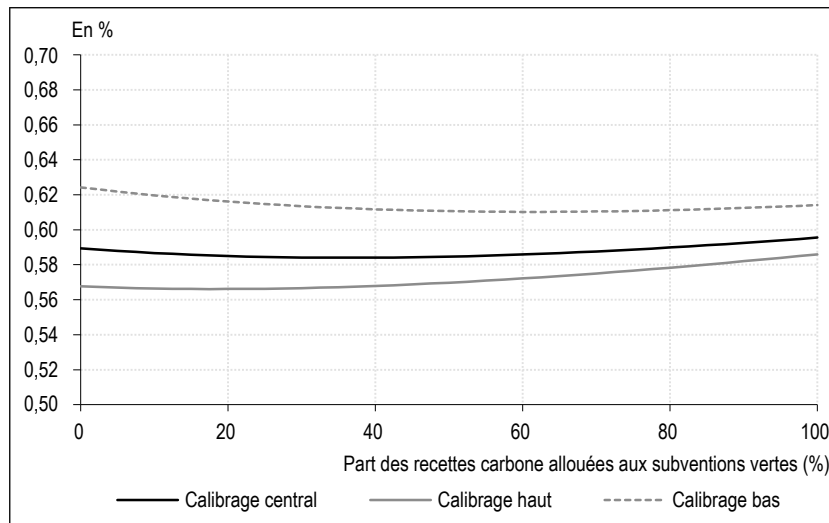
L'existence d'un optimum intérieur pour le PIB est maintenue quel que soit le choix du calibrage. Cet optimum se déplace dans un intervalle compris entre 20 % et 70 % des recettes de tarification allouées à des subventions vertes. L'intérêt des subventions vertes augmente lorsque l'offre de travail est plus élastique, et inversement (figure A-I). L'intérêt des subventions vertes diminue lorsque les types de biens deviennent plus aisément substituables, ainsi que le travail et l'agrégat capital-énergie (figure A-II). L'intérêt des subventions vertes augmente lorsque l'énergie devient plus substituable avec le capital ainsi que les sources d'énergie électrique entre elles (figure A-III). Enfin, les subventions vertes ont d'autant plus d'intérêt que la substituabilité entre les biens produits domestiquement et ceux produits à l'étranger est forte (figure A-IV). Au global, le calibrage le plus sensible est celui de la substituabilité entre l'énergie et les autres facteurs de production.

Figure A-I – Analyse de sensibilité de la figure III au calibrage de l'élasticité de substitution entre travail et loisirs



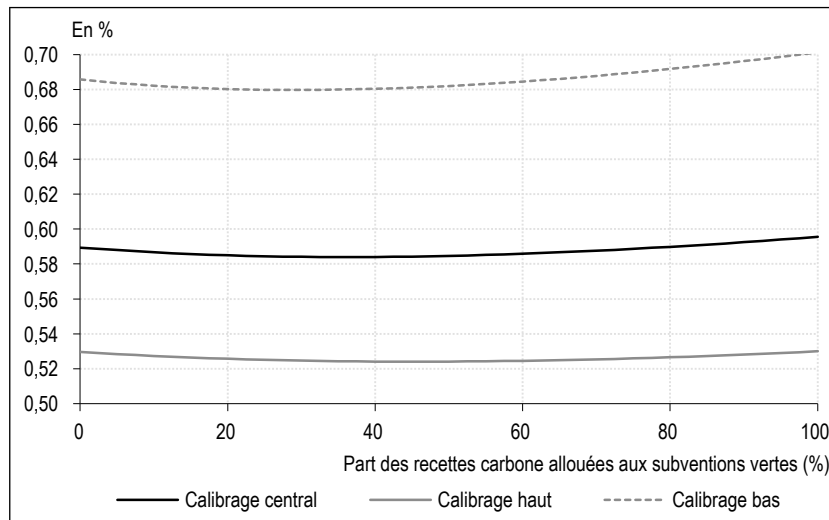
Source : modèle Vulcain du CGDD.

Figure A-II – Analyse de sensibilité de la figure III au calibrage de l'élasticité de substitution entre types de biens et entre le travail et l'agrégat capital-énergie



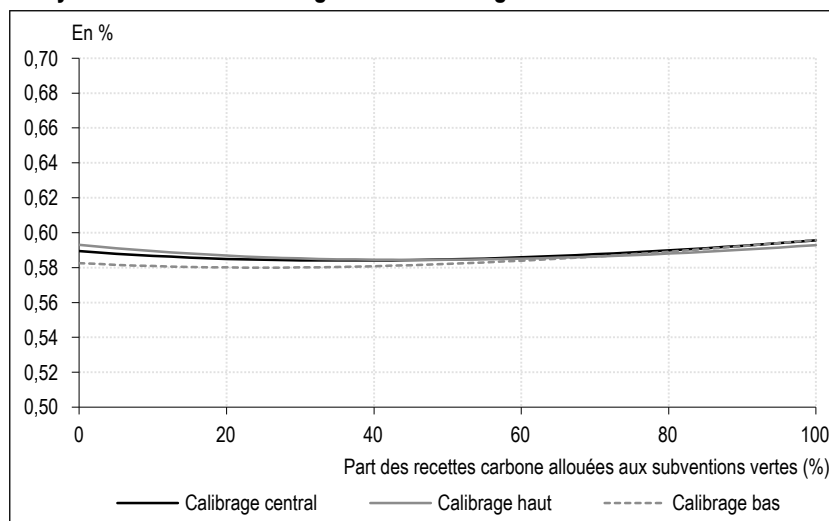
Source : modèle Vulcain du CGDD.

Figure A-III – Analyse de sensibilité de la figure III au calibrage de l'élasticité de substitution entre énergie et capital et entre les différentes sources d'énergie électrique



Source : modèle Vulcain du CGDD.

Figure A-IV – Analyse de sensibilité de la figure III au calibrage des élasticités de substitution d'Armington



Source : modèle Vulcain du CGDD.