



FAERE

French Association
of Environmental and Resource Economists

Working papers

Carbon Footprints, Traded Emissions and Carbon-Price Cooperation Equity

Dominique Bureau

WP 2022.03

Suggested citation:

D. Bureau (2022). Carbon Footprints, Traded Emissions and Carbon-Price Cooperation Equity.
FAERE Working Paper, 2022.03.

ISSN number: 2274-5556

www.faere.fr

Carbon Footprints, Traded Emissions and Carbon-Price Cooperation Equity

Dominique Bureau¹

Abstract

Existing gaps between territorial inventories of CO₂ emissions and carbon footprints resulting from the final domestic demands of countries highlight the need to reduce imported emissions in developed countries. Generalized carbon border pricing would help but it requires avoiding the risk of its use as a trade barrier. However, such an import tax is not the unique possible approach and it is not a substitute for enhanced climate cooperation.

In addition to the advantages usually put forward in terms of efficiency and mechanism design, the setting of a common carbon price, by the means of national taxes or a cap and trade mechanism, would present a threefold interest in this context : of discarding the objections of trade distortions against climate policies; of regulating imported emissions and internal emissions with the same level of ambition; and of acting both on the use of products as well as on their processes. Footprint taxation is then unnecessary, except with non-participants.

But a Green Fund is needed for fair sharing of the burden of the efforts. Moreover, its rules must be adapted when integrating trade-related emissions, which has not been pointed out so far in the debates on Article 6 of the Paris Agreement. Corresponding conditions are specified here and it is underlined that this approach has also the advantage having to deal only with the net distributive effects involving trade in carbon.

Keywords : carbon pricing, carbon footprint, climate cooperation, international trade, burden sharing

JEL Codes : Q54, Q56

¹ CEDD_ French Ministry for Ecological Transition and Ecole Polytechnique

Empreintes « carbone », émissions liées au commerce et équité d'une coopération basée sur les prix du carbone

Dominique Bureau²

Résumé

L'observation des écarts existants entre les émissions de CO₂ appréciées au niveau des inventaires territoriaux et celles résultant des demandes finales intérieures des pays (empreintes) met en exergue la nécessité de réduire les émissions importées des pays développés. Une tarification élargie du carbone aux frontières y contribuerait, mais elle nécessite d'écarter le risque d'utilisation protectionniste d'un tel instrument.

Cependant l'analyse ne peut se limiter à cette question car cette taxation des importations n'est pas un substitut à une coopération climatique renforcée. A cet égard, un mécanisme fondé sur la fixation d'un prix commun du carbone, par le biais d'une harmonisation de sa tarification nationale ou par un marché de quotas, présenterait, en plus de ses avantages habituellement mis en avant en termes d'efficacité et pour construire la coopération, le triple intérêt : d'écarter d'emblée les objections liées aux distorsions commerciales induites par les politiques climatiques ; d'assurer la régulation des émissions importées et celle des émissions internes avec le même niveau d'ambition ; et d'agir à la fois sur l'usage des produits importés ainsi que sur leurs modes de production. Dans ce cadre, le recours à la taxation des importations devient inutile, sauf vis-à-vis des non-participants.

Cependant, un Fonds vert est alors nécessaire pour répartir l'effort équitablement. De plus, ses règles doivent être adaptées quand on intègre les émissions liées au commerce, ce qui n'a pas été pointé jusqu'à présent dans les débats sur l'article 6 de l'Accord de Paris. Les conditions correspondantes sont précisées ici. En particulier, il est souligné que cette approche permet de n'avoir à traiter que des effets distributifs nets de la tarification du carbone impliquant les échanges.

Mots-clefs : tarification du carbone, empreinte carbone, négociation climatique, commerce international, équité de la répartition des efforts

Codes JEL : Q54 ; Q56

L'auteur remercie Francesco Ricci et le rapporteur anonyme pour leurs remarques sur une version préliminaire de l'étude.

² CEDD-Ministère de la transition écologique et Ecole polytechnique

Introduction

Les politiques climatiques existantes ont une approche territoriale des émissions de gaz à effet de serre (GES), se référant aux quantités physiquement émises au sein de chaque pays. Ceci fait sens au regard de la règle *pigouvienne*, qui prescrit une tarification du carbone uniforme au plus près des émissions. En effet, si une telle tarification d'application générale est en place et que les mécanismes de transmission des prix par les marchés fonctionnent efficacement, l'internalisation des enjeux climatiques est assurée ainsi, du *process* de production aux choix des utilisateurs, nationaux ou étrangers.

Cependant, la réalité des politiques climatiques demeure une coopération insuffisante, un faible recours à la tarification du carbone et des politiques fragmentées. Par ailleurs, les controverses sur l'impact de la libéralisation des échanges sur l'environnement (Copeland et Taylor, 2005) ont fait émerger deux sujets pour la régulation des émissions liées au commerce international : le premier concerne les routes internationales, aériennes et maritimes, ignorées des inventaires territoriaux; le second, l'opportunité d'introduire des mécanismes d'ajustement aux frontières (*Carbon Border Adjustment Mechanisms*, ou « CBAM ») pour éviter les « fuites de carbone » vers les pays ayant des politiques climatiques plus laxistes.

Plus récemment, l'observation des écarts existants entre les « empreintes carbone » (c'est à dire les GES induits par la demande finale intérieure des pays) et les inventaires territoriaux des émissions a conduit à s'interroger sur la mesure pertinente des pressions qu'exerce un pays sur le climat. Ainsi, le Haut Conseil français pour le Climat (2020) constate que 53 % seulement des émissions de l'empreinte carbone de la France proviennent de son territoire, les autres échappant donc aux politiques climatiques nationales. Il en conclut que, pour que la France contribue le moins possible au réchauffement climatique, les émissions importées doivent aussi diminuer. À titre d'ordre de grandeur, il est noté « qu'un objectif de réduction de ces émissions importées de 65 %, tous GES compris à l'horizon 2050 par rapport à 2005, serait cohérent avec les trajectoires mondiales permettant de limiter le réchauffement planétaire à 1,5° C ».

Des propositions en faveur d'une pénalisation de toutes les importations de carbone émergent donc, qui envisagent l'application des CBAMs bien au-delà du cas de fuites avérées de carbone. Souvent, celles-ci mettent en avant que l'orientation de la demande serait plus importante que celle des émissions liées au *process*, notamment en matière d'alimentation. Sans aucun doute, elles répondent aussi aux préoccupations des entreprises locales en matière de compétitivité. Mais le soupçon de protectionnisme s'ensuit et la crainte que, concomitamment, les objectifs nationaux de réductions puissent être revus à la baisse. Le risque d'ouvrir ainsi une véritable boîte de Pandore pourrait être renforcé si les pays émergents cherchent alors à se décharger des émissions liées à leurs exportations, en utilisant eux-aussi cet argument de la responsabilité première de la demande. En tout état de cause, certains pays s'opposent farouchement à toute tarification du carbone importé ou restriction d'autre nature, n'y voyant qu'entrave au commerce et protectionnisme, comme l'illustrent les débats avec le Brésil sur la déforestation importée et l'alimentation, par exemple.

Alors que les coopérations visées par l'article 6 de l'Accord de Paris (CCNUCC, 2015), qui reconnaît que « certaines parties coopèrent volontairement pour relever le niveau d'ambition », vont maintenant pouvoir se mettre en place, il apparaît utile d'examiner systématiquement comment devrait être réalisée la tarification du carbone pour les émissions associées au commerce international : la taxation générale du carbone importé est-elle une option ayant sa place dans la panoplie des accords climatiques ? Si oui, est-ce un instrument pérenne ou, au

contraire, ayant plutôt vocation à disparaître à mesure que la coopération s'élargira, ceci demeurant l'objectif prioritaire ?

En effet, le problème posé par les émissions importées ne semble pas qu'elles échappent aux politiques climatiques des pays importateurs, mais qu'elles ne soient pas soumises à des réglementations suffisantes au lieu d'émission. Cependant, pour apprécier l'opportunité de les tarifier, la référence à considérer n'est pas le premier rang idéal mais la coopération effective que l'on peut raisonnablement envisager. Ceci impose d'examiner précisément les contraintes qui pèsent sur la construction de la coopération climatique quand on intègre les émissions associées au commerce international, compte-tenu notamment des impacts distributifs des politiques climatiques.

Dans cette perspective, on intègre les émissions liées au commerce dans un cadre de coopération climatique suivant les principes suggérés par Cramton et al. (2015). Plus précisément, on s'intéresse donc aux négociations internationales sur la réduction des émissions, dans le cadre d'un accord prévoyant une tarification harmonisée du carbone décidée par vote à la majorité, accompagnée d'une redistribution internationale mobilisant un Fonds vert. De plus, on envisage la possibilité que la tarification du carbone à la source soit complétée par une tarification (harmonisée aussi) du carbone importé, pour corriger une éventuelle sous-tarification de celle-ci résultant de ces contraintes.

Après avoir rappelé le contexte et, brièvement, la littérature économique s'y rapportant (première partie), on décrit le modèle utilisé (deuxième partie). Celui-ci a été conçu par rapport à trois soucis : décrire les émissions liées au commerce international avec des spécifications permettant de transposer aisément les modèles usuels de coopération climatique avec asymétries informationnelles ; distinguer nettement les deux canaux de l'orientation des usages et de l'amélioration des *process*, ce qui est essentiel quand on aborde les questions de réduction des empreintes carbone ; et, aussi, tirer pleinement parti, pour ce qui peut être transposable, de l'expérience accumulée dans la production des biens publics au niveau des Etats pour concevoir la coopération climatique.

La modélisation permet tout d'abord de rappeler quelques débats « internes » à propos de la tarification du carbone importé. Surtout, on précise ensuite les contraintes qu'ajoute le carbone lié au commerce pour la mise en œuvre du mécanisme de coopération envisagé. En particulier, les caractéristiques du Fonds vert à mettre en œuvre sont précisées (troisième partie). Les deux éléments-clés mis en exergue sont ici la prise en compte nécessaire des balances « carbone » des pays au sein des mécanismes de ce Fonds vert et l'inutilité, dans ce cadre institutionnel, de la tarification du carbone importé, quoique l'on se situe dans un contexte de second-rang.

I-Economie de la coopération climatique et commerce. Points de repères

I-1 Eléments de contexte

Le changement climatique est déterminé par l'évolution de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère résultant de l'accumulation des émissions de tout un chacun. Ainsi, on parle de bien public global, avec en conséquence à résoudre les problèmes de passager clandestin associés à la production des biens publics : spontanément, chaque pays établit sa politique climatique en considérant la balance entre le coût de ses efforts d'abattement et la réduction des dommages climatiques qu'il en retirera, sans internaliser les bénéfices de la réduction des émissions pour les autres pays. Finalement, les prix du carbone -implicites ou

explicites- des politiques des différents pays sont différenciés, et d'autant plus faibles que les émissions sont dispersées sur tous les pays : typiquement, le niveau d'effort global est alors affecté du coefficient d'Herfindhal de la concentration des émissions, par rapport à celui qui serait souhaitable.

Une approche possible pour lever cette inefficacité serait celle d'une négociation « *Coasienne* » entre les pays. Si elle aboutissait, ceci conduirait à des efforts reflétant un prix du carbone implicite uniforme au lieu des émissions, associé à des transferts entre pays assurant des gains pour tous. Cependant, un tel processus semble peu réaliste au niveau des 185 parties de l'Accord de Paris. Surtout, l'incitation à se comporter en passager clandestin, en ne participant pas à la négociation, est extrêmement forte (Barrett, 2006).

Limitée à quelques pays, cette approche semble plus praticable, le rapport Blanchard-Tirole (2021) soulignant, qu'à eux seuls, les 5 plus gros pollueurs (Chine, Etats-Unis, Europe, Russie et Inde) sont à l'origine de plus de 60% des émissions de CO₂. Il est même notable que la Chine, les Etats-Unis et l'Europe en représentent déjà près de 44%. La négociation entre ces derniers est donc prioritaire.

Toutefois, même si on ajoute les autres pays s'étant dotés déjà de politiques d'atténuation significatives - soit une dizaine d'acteurs comme le Japon, le Canada, le Royaume-Uni et les autres pays du G20 qui se placent, comme l'Europe, dans une perspective d'exemplarité par rapport à l'objectif de limiter à 2°C le réchauffement global-, le « verre » resterait seulement à moitié plein. Il demeurerait donc à combler encore un facteur de l'ordre de 4 sur le niveau d'effort. De plus, la part des émissions ainsi couverte est tendanciellement appelée à se réduire compte-tenu de la déformation tendancielle du PIB mondial en faveur des pays émergents (cf. Annexe 1, PWC, 2017). Or, le principal déterminant des émissions est la richesse des pays, les émissions par unité de PIB étant beaucoup moins dispersées que celles par habitant, notamment (cf. Annexe 2).

Cette approche risque donc de laisser trop d'émissions non régulées, comme c'était le cas avec le protocole de Kyoto, ce qui avait motivé en son temps le retrait américain. Les mêmes causes risquant de produire les mêmes effets, l'objectif des accords internationaux pour le climat est d'établir des cadres opérationnels pour construire une coopération plus large. L'accord de Paris y a réussi en apparence. Cependant, son mécanisme principal est très insatisfaisant, les efforts proposés comme « contributions nationales » (NDC) relevant de la logique de souscription rappelée ci-dessus.

La littérature ayant cherché à concevoir des mécanismes alternatifs propres à soutenir une coopération est abondante. Elle mobilise les deux grandes branches de la théorie des jeux, les contributions de Nordhaus (2015) et Beccherlé-Tirole (2011) étant représentatives des approches s'attaquant aux problèmes d'incitations associés au comportements de passager clandestin, et Tulkens (2019) de l'utilisation des concepts issus des jeux coopératifs. De plus en plus, le souci est d'éclairer les débats par des éléments empiriques sur les comportements réels, comme le fait la revue de Carattini et al. (2019), par exemple.

De manière pragmatique, on peut aussi s'intéresser à des mécanismes particuliers, certes imparfaits, mais potentiellement plus aisés à mettre en œuvre. Dans cette perspective, on étudie ici l'application de mécanismes de vote majoritaire pour mettre en place un prix commun du carbone. Cette approche proposée par Cramton et al. (2015) présente l'intérêt d'être plus aisément appropriable par les décideurs, puisqu'elle s'inspire de mécanismes qu'ils

connaissent. Dépassant les inconvénients des mécanismes de souscription, elle peut tirer aussi parti du fait que l'atténuation du risque climatique est un problème essentiellement unidimensionnel, de budget carbone.

I-2 Une coopération fondée sur un prix commun du carbone

Peu avant l'Accord de Paris, l'idée de construire la coopération climatique autour d'un engagement à appliquer un prix international du carbone harmonisé avait été discutée de manière très approfondie dans le cadre du symposium de 2015 du journal *Economics of energy and environmental policy*. Dans son principe, elle procède des raisonnements suivants :

-si les pays se sont entendus sur une règle de partage du surplus associé à la coopération climatique, ils ont ensuite intérêt à ce que ce surplus global soit le plus élevé possible, ce qui nécessite justement un prix uniforme du carbone ;

-une telle règle de répartition étant préétablie, la coopération pour définir ce prix, qui déterminera l'ambition des efforts, peut s'enclencher suivant une logique « *I will if you will* », chaque pays étant enclin à appliquer un prix du carbone élevé dès lors qu'il s'appliquera à tous. Ainsi, un simple mécanisme de vote à la majorité sur son niveau peut être envisagé, à l'instar des institutions utilisées en pratique pour les choix de biens publics, au sein des États mais aussi d'associations d'acteurs, publics ou privés, quand elles coopèrent. L'inversion du timing, -avec l'engagement initial sur le principe d'un prix commun, mais sa fixation en seconde étape, après avoir établi la règle de partage des efforts- change donc la donne, en établissant un cadre comparable à celui qui existe au sein des États démocratiques pour la production des biens publics, où le principe que tous doivent contribuer par des impositions équitables est établi au niveau le plus élevé du « Contrat social » constitutionnel, en amont des lois de Finances qui sélectionnent ensuite les dépenses publiques ;

-le mécanisme est compatible avec un principe de *subsidiarité* laissant le soin aux États de s'organiser pour conduire les politiques nationales d'accompagnement et, surtout, mettre en œuvre les transferts nécessaires pour en assurer l'acceptabilité en leur sein, ceux-ci disposant en effet d'une meilleure information et de plus d'instruments pour cela ;

-il est aussi compatible avec le principe « *de responsabilités communes mais différenciées* », dès lors que des transferts sont mis en place *ex ante*, pour compenser les efforts spécifiques qui seront ainsi demandés à certains pour la transition et pour financer l'adaptation, notamment celle des pays les plus exposés aux impacts du changement climatique. En ce dernier domaine, la limite reste cependant le degré de solidarité que sont prêts à accepter les pays.

Cette approche se distingue à la fois des contributions volontaires nationales de l'accord de Paris et de l'approche dite « *top-down* » qui prévalait pour le protocole de Kyoto. Alors que cette dernière cherchait à répartir un objectif de réduction (en l'espèce, limité aux pays de son Annexe 1), la fixation de la règle de répartition est ici première. C'est ce qui permet d'envisager ensuite la fixation d'un niveau d'efforts ambitieux.

Ayant posé le principe général d'une coopération pour un prix unique du carbone, ce symposium de 2015 montrait que différentes variantes étaient envisageables pour sa mise en

œuvre, en termes d'instruments (« taxes versus permis ») ou de dynamique. A cet égard, les uns s'attachaient plutôt à enclencher « la fin d'un commencement » qui dure depuis trente ans maintenant, les autres à proposer le cadre « cible ». Cependant, la construction d'un prix commun du carbone constituait le cœur d'une même démarche, abordée sous des angles complémentaires sachant que, si le point de départ sera nécessairement une coalition restreinte, il est essentiel d'avoir en perspective la mise en place d'institutions pérennes.

I-3 L'intégration des émissions importées

Les émissions qui prennent place au lieu de production des biens échangés dans le commerce international introduisent une complication supplémentaire pour la conception de la coopération climatique. En effet, les modèles usuels en ce domaine considèrent des courbes de coûts d'abattements agrégées des pays, ne distinguant pas l'origine de réductions d'émissions entre *process* et usage, et ignorant les effets distributifs de la tarification du carbone entre pays.

L'enjeu semble pourtant d'importance. S'agissant du CO₂ (cf. Annexe 3), l'empreinte française, par exemple, est sensiblement supérieure à ses émissions territoriales. L'écart est de signe opposé pour les grands pays émergents, et tendanciellement croissant. De plus, le sujet ne concerne pas que le CO₂ : la thématique de la déforestation importée souligne le rôle déterminant des régimes alimentaires des pays développés dans les émissions de méthane et l'évolution des puits de carbone, alors même que le renforcement de ceux-ci est crucial pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris.

Cependant, dans un premier temps, l'attention s'est portée essentiellement sur le seul carbone, et plus précisément sur le risque que l'efficacité des politiques nationales visant à réduire les émissions à la production des biens ne soit réduite du fait d'un contournement par les importations : le problème des « fuites de carbone ». Pour y remédier, la proposition de taxer les émissions de carbone des biens importés correspondants (CBAMs) a émergé. Longtemps suspecté de protectionnisme, ce type de mécanisme soulève aujourd'hui moins d'objections de principe chez les économistes (Blanchard et Tirole, 2021). En effet, dans tous les pays, les impacts potentiels sur la compétitivité constituent un obstacle majeur au renforcement des politiques de réduction des émissions de GES. Par ailleurs, sous réserve de ne pas constituer une restriction déguisée au commerce international, ceux-ci peuvent être justifiés au titre des exceptions de l'article XX du GATT, notamment quand le transfert d'activités vers des pays plus laxistes qui est associé aux fuites de carbone a pour effet une augmentation nette globale des émissions de gaz à effet de serre (Mehling et al. 2017, Flannery et al. 2018).

Mais la régulation des émissions importées concerne un ensemble de biens beaucoup plus large que ceux où une production nationale est soumise à un risque de contournement direct. Dans ce contexte, une coopération climatique construite pour établir un prix commun du carbone présente l'intérêt majeur d'écarter à la base tous les problèmes de distorsions compétitives.

Cet argument est à ajouter à ceux rappelés ci-dessus concernant l'efficacité allocative d'un prix unique du carbone, ainsi qu'à la possibilité de faire internaliser ainsi les effets externes des efforts de réduction dans le processus de détermination de l'effort. Mais il faut cependant y regarder de plus près, et préciser les conditions d'une telle coopération quand on intègre les émissions importées.

En effet, on ne peut ignorer alors les transmissions des coûts et les transferts entre pays induits par cette tarification. Un examen systématique de la manière dont les déséquilibres entre

émissions importées et exportées en affectent la construction est donc nécessaire, considérant comment les impacts distributifs entre pays de la tarification du carbone se transmettent et s'agrègent, et préciser la faisabilité des compensations à opérer pour en corriger les effets indésirables. Pour cela, une description détaillée du fonctionnement des marchés des biens correspondants est nécessaire, distinguant l'origine de réductions d'émissions entre *process* et usage, et évaluant les effets distributifs de la tarification du carbone entre pays.

II-Cadre d'analyse

II-1 Marchés de biens polluants et instruments de politique climatique

Le modèle considère n pays à l'origine d'émissions de GES du fait de différents biens polluants, directement du fait de la production de certains de ceux-ci sur leur sol, dont ils sont utilisateurs ou exportateurs, et indirectement au travers des émissions induites par la production des produits qu'ils importent. Chaque type de bien polluant impliqué dans le commerce mondial est supposé produit par un ou plusieurs pays, pesant plus ou moins sur le marché considéré, et (pour simplifier) consommé dans un pays particulier. Par ailleurs, on retient la formalisation la plus simple qui soit pour décrire le fonctionnement des marchés correspondants: en équilibre partiel ; avec des demandes et des offres concurrentielles dans chacun des pays concernés ; supposées linéaires.

Génériquement, pour chaque marché de bien polluant commercé, on note :

- X la demande pour le bien considéré, issue du pays utilisateur, en fonction de son prix (P),
- (X_j) l'offre de chaque pays sur ce marché, nulle pour les pays non actifs, l'indice j couvrant ainsi l'ensemble des pays,
- (E_j) les niveaux d'émissions associées, et E leur montant global.

Les grandeurs correspondantes dans la situation de référence sont désignées par un indice supérieur 0. On note en particulier P^0 le prix d'équilibre initial, associé à l'absence de tarification du carbone. Les courbes d'offre des pays exportateurs $m_j(X_j)$ et la demande inverse $P_d(X)$ du pays importateur sont exprimées en écarts à cette situation de référence, en fonction des deux paramètres caractéristiques respectivement : de la sensibilité globale de l'activité sur ce marché ($\lambda > 0$); et des pentes relatives des courbes d'offre par rapport à celle de la demande ($\rho \in [0, 1]$). Plus précisément (cf. Annexe 4-a), on pose :

$$(1) \quad \begin{cases} P_d(X) = P^0 - (\rho/\lambda)(X - X^0)/X^0 \\ \forall j, m_j(X_j) = P^0 + ((1 - \rho)/\lambda)(X_j - X_j^0)/X_j^0 \end{cases}$$

Les courbes d'offre des différents pays ont donc même ordonnée à l'origine. Différenciées en termes de parts de marchés, elles sont donc supposées homogènes en termes de sensibilité. Comme on le verra, le paramètre ρ caractérisera la transmission des coûts dans les prix et, par-là, la répartition de la charge de la tarification du carbone entre les différents pays (incidence fiscale) : $\rho = 0$ correspond à une demande infiniment élastique à son prix, auquel cas ce sont les producteurs qui supporteront cette charge; et $\rho=1$ à un coût unitaire de production constant, auquel cas celle-ci est intégralement transmise au consommateur.

Les instruments de tarification du carbone envisagés combineront potentiellement tarifications au lieu d'émissions et à l'importation, ces dernières étant susceptibles de distinguer selon leur origine. Ainsi, on note :

$-(q_j)$ par unité d'émission, la tarification mise en place en son sein par chaque pays producteur, là où se produit le *process* polluant.

$-(t_j)$ la tarification appliquée par le pays consommateur au contenu moyen en carbone de ce produit quand il est importé du pays j (et, éventuellement, à sa production nationale, mais à l'usage du produit). L'assiette de cette tarification de l'empreinte carbone portant sur les produits au moment de leur importation, non sur les émissions de chaque producteur, elle affecte la demande adressée aux différents pays mais n'influence pas les choix de niveau de pollution des *process* utilisés en leur sein, contrairement à la tarification précédente (q_j) sur le lieu d'émissions, qui en constitue, elle, le déterminant fondamental.

Supposant des conditions technologiques homogènes en matière de dépollution, on fait l'hypothèse que, pour chaque unité produite, le niveau d'émissions relève d'une fonction commune de réponse des émissions de *process* e_j à la tarification territoriale, soit $e_j = \tilde{e}(q_j)$, dépendant linéairement du prix local du carbone. Les niveaux d'émissions unitaires pour ce produit sont donc uniformes au sein de chaque pays et les contenus moyens pour établir l'assiette des tarifications à l'importation valent donc aussi $\tilde{e}(q_j)$.

Normalisant à 1 les contenus d'émissions dans la situation de référence et notant v la sensibilité des émissions à ce prix, on a donc $\tilde{e}(q) = 1 - vq$ avec $v > 0$ (ainsi que $E^0 = X^0$; $\forall j, E_j^0 = X_j^0$). Le coût δ_j pour réaliser l'abattement unitaire correspondant est associé à la fonction de coût $\tilde{\delta}(q) = vq^2/2$. Le coût total (c_j) supplémentaire (par unité produite) supporté par les producteurs, additionnant ce coût d'abattement et la taxation des émissions résiduelles, vaut donc $\tilde{c}(q) = q\tilde{e}(q) + \tilde{\delta}(q) = q - \frac{vq^2}{2}$, qui, en particulier satisfait l'identité de Roy $\tilde{c}'(q) = \tilde{e}(q)$.

II-2 Equilibre du marché d'un bien polluant

Considérons une tarification du carbone quelconque $((q_j), (t_j))$. Les coûts marginaux de production déterminant l'offre de chaque pays valent $m_j(X_j) + \tilde{c}(q_j) + t_j\tilde{e}(q_j)$. Si l'on suppose que les pays correspondants demeurent présents sur le marché (ie. $X_j > 0$ si $X_j^0 > 0$), l'équilibre vérifie donc:

$$\left\{ \begin{array}{l} P = P_d(X) \\ \forall j, \quad P = m_j(X_j) + \tilde{c}(q_j) + t_j\tilde{e}(q_j) \\ X = \sum_j X_j \end{array} \right.$$

On peut y associer un coin fiscal spécifique à chaque pays producteur:

$$(2) \quad u_j = \tilde{\delta}(q_j) + (q_j + t_j)\tilde{e}(q_j) = \tilde{c}(q_j) + t_j\tilde{e}(q_j)$$

et un coin fiscal moyen u :

$$(2') \quad u = \sum_j (X_j^0 / X^0) u_j$$

Ce dernier détermine l'impact global de la tarification du carbone sur l'activité polluante. En effet, l'équilibre vérifie (cf. Annexe 4-b):

$$(3) \quad \begin{cases} X = X^0(1 - \lambda u) \\ P = P^0 + \rho u \\ \forall j, X_j = X_j^0 - (\lambda / (1 - \rho)) X_j^0 (u_j - \rho u) \end{cases}$$

Les deux premières équations reflètent les interprétations avancées des deux coefficients λ, ρ en termes, respectivement, de sensibilité globale du marché et de coefficient de transmission.

Par ailleurs, on observe que ces instruments de tarification permettent de réaliser n'importe quelle allocation $((e_j), (X_j))$ sur ce marché. En effet, les émissions unitaires sont contrôlées par la tarification territoriale du carbone (q_j), et les niveaux d'activités par les coins fiscaux (u_j), compte-tenu de (3). Les tarifications « empreinte » (t_j) s'en déduisent, de (2).

Le schéma 1 ci-dessous illustre cet équilibre, associé par ailleurs à des émissions de carbone :

$$(4) \quad \forall j, E_j = \tilde{e}(q_j) X_j, E = \sum_j E_j$$

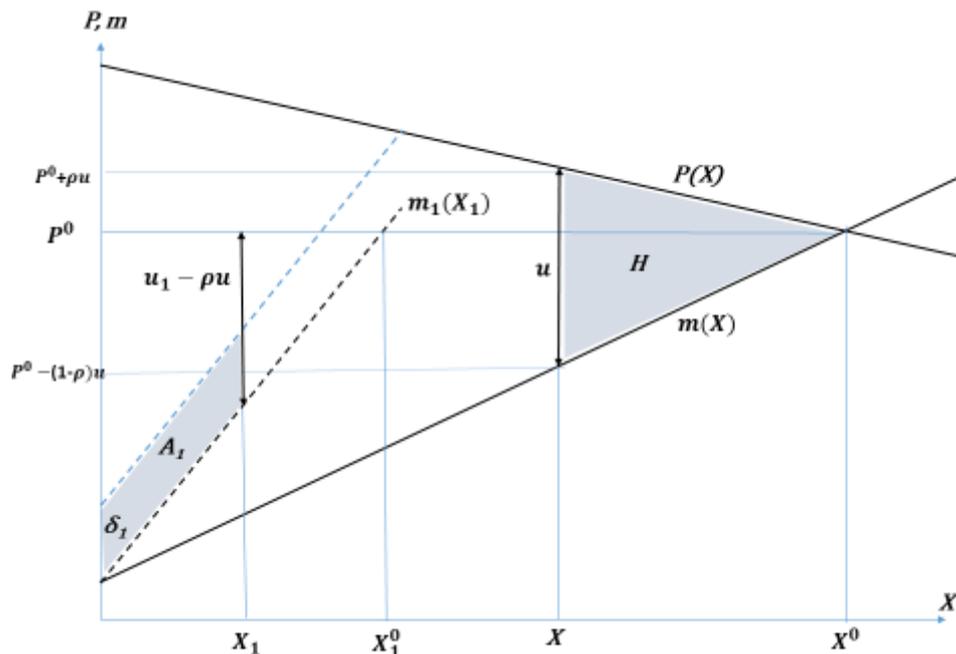


Schéma 1. Équilibre du marché d'un bien polluant

Ayant fait les hypothèses que, sur un tel marché, les pays offreurs ne se distinguent que par un effet de part du marché et que ceux-ci ont par ailleurs un même accès aux technologies de dépollution, les niveaux d'activités et d'émissions sont affectés, mais non leur structure quand

la tarification est uniforme. En effet, les parts de marché sont conservées dès lors que $\forall j, u_j = u$ (cf. (3)), et les émissions unitaires des pays sont identiques si $\forall j, q_j = q$.

II-3 Coûts d'abattements et incidence de la tarification du carbone

Par rapport à la situation de référence, la mise en place d'une tarification du carbone représente un coût d'abattement total C , somme des trois types de surcoûts suivants (cf. Annexe 5):

- la perte nette liée au renoncement à certaine consommation du produit, mesurée par le triangle d'Harberger (H dans le schéma 1 précédent), $H = u \frac{(X^0 - X)}{2} = \lambda u^2 X^0 / 2$,

-les surcoûts ($A_j = \delta_j X_j$) sur les *process*, engagés dans chaque pays pour rendre leur offre moins polluante, soit au total $A = \sum_j \delta_j X_j$,

-et les surcoûts liés aux inefficacités de la structure productive quand la tarification du carbone n'est pas uniforme, qui représente un coût $I = (\lambda/2(1 - \rho)) \sum_j X_j^0 (u - u_j)^2$.

En contrepartie de ce coût d'abattement total C , les émissions sont réduites de $E^0 - E$. Si l'on attribue une valeur γ à la tonne de carbone évitée, le critère d'efficacité du marché qui s'en déduit est de la forme:

$$(5) V^\gamma = \gamma(E^0 - E) - C$$

La démarche pigouvienne usuelle s'applique alors: la maximisation d'un tel critère est réalisée par la tarification des dommages au lieu d'émissions (« *upstream* ») à hauteur de cette valeur du carbone; taxer en plus l'empreinte carbone est inutile, les mécanismes de transmission des coûts par le marché suffisant pour guider aussi les choix de consommation. Enfin, dès lors que l'on a supposé $\nu > 0$, donc que l'orientation des *process* compte, cette dernière serait même distorsive puisqu'elle conduirait à des coûts marginaux d'abattement différenciés selon que l'effort porte sur les *process* ou sur l'usage (cf. Annexe 6).

Proposition 1 (tarification pigouvienne). La maximisation de tout critère V^γ est réalisée par la tarification territoriale $\forall j, q_j = \gamma, t_j = 0$ (condition nécessaire et suffisante).

Idéalement, le niveau de cette tarification devrait être fixé en référence au coût social du carbone pour l'ensemble des pays (γ^*), l'optimum social étant atteint si tous les pays taxaient à la source leurs émissions, à ce taux. Cette référence est rappelée pour servir de « *benchmark* » dans l'analyse des mécanismes de tarification étudiés ci-dessous. Mais il n'y a aucune raison évidemment que, spontanément, les pays considèrent cette référence, qui supposerait établie un cadre de coopération assurant que chaque pays internalise parfaitement les bénéfices de ses actions de protection pour les autres pays alors que, spontanément, ils ont intérêt à se comporter en passager clandestin. De plus, s'agissant des émissions associées au commerce international, la responsabilité de la tarification se trouve partagée entre les deux côtés du marché et celle-ci génère des transferts entre pays. En d'autres termes, on est confronté à deux types de problèmes pour se rapprocher de cet idéal et aligner les intérêts nationaux avec le bien commun : mieux assurer l'internalisation des effets externes internationaux des politiques nationales de réduction de leurs émissions ; et neutraliser les biais liés aux impacts sur les termes de l'échange.

Pour analyser les contraintes qui en résultent pour la coopération climatique, il importe donc de décomposer plus avant le partage de ce coût d'abattement entre les différents pays, pour une tarification quelconque. A cette fin, on note respectivement $R_j^t = q_j e_j X_j$, $R^t = \sum_j R_j^t$ et $R^f = \sum_j t_j e_j X_j$: les recettes que tire chaque pays exportateur de la tarification du carbone sur le lieu d'émissions, la somme de celles-ci, et les recettes tirées de la taxation des empreintes carbone par le pays consommateur.

Exprimant les impacts sur les différents pays en termes de gains nets par rapport à la situation de référence, ceux-ci correspondent alors : pour les pays exportateurs (et le côté production dans le pays importateur), à la somme du profit des producteurs et des recettes de la tarification territoriale des émissions (S_j^t); du surplus du consommateur et des recettes fiscales de la tarification de l'empreinte carbone pour le côté utilisation du pays importateur (S^f). On a donc :

$$(6) \begin{cases} \forall j, S_j^t = -(u_j - \rho u) \frac{(X_j + X_j^0)}{2} + R_j^t \\ S^f = -\rho u \frac{(X + X^0)}{2} + R^f \end{cases}$$

D'où (cf. Annexe 7) :

$$(7) \begin{cases} S^f = -\rho C - \rho I - \rho R^t + (1 - \rho) R^f \\ S^t = \sum_j S_j^t = -(1 - \rho) C + \rho I + \rho R^t - (1 - \rho) R^f \end{cases}$$

Avec :

$$(8) C = H + A + I = -S^f - \sum_j S_j^t = \frac{\lambda u^2 X^0}{2} + \sum_j \delta_j X_j + (\lambda/2(1 - \rho)) \sum_j X_j^0 (u - u_j)^2$$

La répartition du coût total d'abattement entre les deux côtés du marché dépend ainsi du coefficient d'incidence (ρ), qui détermine aussi la charge ultime des recettes fiscales. Les transferts associés aux formules (6) et (7) modifient donc les conditions pour la coopération climatique. Elles mettent en exergue comment les charges pour les différents pays dépendent du degré de transmission de la tarification dans le prix final du produit : si le prix final est fixé ($\rho=0$), la charge du coût, mais aussi de la tarification des empreintes carbone sont entièrement supportées par les pays exportateurs ; symétriquement, le pays importateur supporte ce coût et la tarification territoriale s'il y a transmission totale dans le prix final ($\rho=1$).

II-4 Taxer l'empreinte carbone pour réduire les émissions importées ?

Constatant que les prix du carbone explicites ou implicites des politiques climatiques menées par la plupart des pays demeurent faibles, *a fortiori* ceux qui concernent les biens impliqués dans les échanges internationaux, la tarification du carbone importé apparaît séduisante : pour permettre à un pays relativement ambitieux d'accroître sa contribution à la réduction des émissions, en agissant au niveau de l'usage des produits polluants qu'il importe ; à défaut de pouvoir en orienter le *process* de production. Mais le cas ($\rho=0$) vu ci-dessus légitime la crainte d'une utilisation protectionniste de la tarification de l'empreinte carbone, comme des droits de douane déguisés.

Plus généralement, ce modèle permet de rappeler la portée d'une telle approche et ses difficultés. Supposons en effet que le pays utilisateur corresponde à l'indice i , et que celui-ci

souhaite engager unilatéralement une action ambitieuse, alors que les autres pays producteurs n'appliquent aucune tarification carbone à ces émissions. Les instruments mobilisables par le pays utilisateur seraient donc la tarification de ses émissions territoriales et celle du carbone à l'importation et l'usage, soit $(q_i, (t_j))$.

Ne disposant que de ces instruments, un calcul similaire à celui déjà réalisé à l'Annexe 6 montre que la tarification optimale au regard du critère V^{γ^*} serait alors : $q_i = \gamma^*, t_i = 0, \forall j \neq i, t_j = \gamma^*$, donc une tarification à la source des émissions produites sur son sol et une tarification unilatérale de toutes les émissions importées, les deux au niveau du coût social du carbone. En effet, cette formule correspond à une tarification *pigouvienne* si les émissions unitaires des offreurs étrangers sont rigides. Elle correspond donc à l'optimum social de second rang si l'on ajoute comme contrainte l'impossibilité de tarifer à la source les émissions importées.

Ceci vaut aussi bien pour des produits purement importés, pour orienter les structures de consommation par rapport au carbone, que lorsque la spécialisation des pays est fortement sensible aux différentiels de politiques climatiques, pour orienter les spécialisations par rapport aux compétitivités « sociales ». Dans ce dernier cas, la question des fuites de carbone domine, l'absence de tarification des émissions importées obligeant le pays importateur à réduire la tarification des émissions territoriales des activités exposées à la concurrence internationale. Cependant, la question de la tarification des émissions importées se pose plus largement, mais avec toujours les mêmes difficultés à résoudre.

En effet, on doit s'attendre à ce que celui-ci :

- considère, non le coût d'abattement total, mais la part qu'il en supporte ainsi que des autres impacts de la tarification, en tant que pays importateur (formule (7)) et éventuellement producteur du bien considéré (formule (6)). En particulier, si ρ est faible, le souci d'améliorer ses termes de l'échange comptera beaucoup plus dans les choix que l'efficacité, d'où la suspicion de protectionnisme. La tarification unilatérale des émissions importées est donc potentiellement biaisée par des considérations commerciales, comme moyen indirect de taxation des importations. Pour lever cette objection, il faudrait compenser les autres pays pour les transferts induits par la tarification, ce qui est très délicat compte-tenu des asymétries d'information probables dans la négociation des compensations à opérer. Mais ceci diminue l'impact de la taxation du carbone importé comme incitation à rejoindre un « club climatique ». A contrario, si cette compensation n'est pas réalisée, il faut prendre en compte les problèmes de compatibilité aux règles du commerce et, en pratique avant cela, les risques de représailles. En d'autres termes, l'avantage de pouvoir agir unilatéralement, en ne mobilisant que des instruments nationaux, ne va pas sans difficultés.

- et ne valorise les réductions d'émissions qu'à hauteur de son intérêt propre ($\gamma \ll \gamma^*$). Si les autres pays ne font pas d'effort de réduction de leurs émissions (situation de référence), la tarification « unilatérale » mise en place par le pays importateur d'émissions carbone s'il doit compenser (à supposer que cela soit faisable) les autres pays serait donc un prix du carbone γ , appliqué sur le lieu d'émissions pour la production nationale et à l'importation pour les émissions importées. Certes, cette application, par un pays (ou un « club » de pays) s'astreignant à des efforts d'abattement relativement ambitieux, d'une tarification de l'empreinte carbone assurant un niveau de tarification équivalent à celui appliqué pour orienter les choix domestiques, serait bénéfique collectivement, puisque V^{γ^*} serait aussi accru, par rapport à la situation de

référence. Mais elle demeurerait à un niveau d'ambition insuffisant, ne reflétant pas le coût social du carbone, mais toujours une logique de souscription.

Au bout du compte, ce type d'approche peut être intéressant pour inciter les pays plus avancés, à la fois à réduire leurs émissions importées, et à ne pas réduire l'ambition de leur tarification des émissions territoriales face au risque de fuites de carbone ou de pertes de parts de marché. Le découplage permis par ce type d'instrument est évidemment précieux pour permettre à un pays de viser l'exemplarité, à l'instar de ce qu'essaye de faire l'Union européenne avec son « *Green Deal* ». Mais il y a beaucoup de difficultés pour être compatible avec les règles du commerce, et deux limites fondamentales :

-ceci ne permet pas d'agir directement sur les *process* polluants des émissions liées au commerce;

-et ce n'est pas un substitut à une coopération climatique élargie si les problèmes de passager clandestin à résoudre sont sérieux, auquel cas la valeur de l'action carbone prise en compte par chaque pays reflète essentiellement son intérêt direct (Bureau et Schubert, 2017, Böhringer et al., 2021). Dès lors, la tarification unilatérale du carbone importé ne constitue qu'une solution partielle au problème des émissions importées, qui ne peut se substituer à la construction d'une coopération climatique plus ambitieuse.

II-5 Modèle complet

Afin de préciser les contraintes qu'introduisent les émissions importées pour la construction de cette coopération, le modèle complet considère simplement que pour chaque pays, il y a un marché de bien importé polluant du type précédent.

Les variables introduites ci-dessus sont alors doublement indicées, d'abord par celui du pays utilisateur (i), puis par celui du lieu de production concernés (j), comme ci-dessus. On y ajoutera un indice préalable (M) pour rappeler qu'il s'agit d'émissions liées au commerce. Ainsi, on désigne, par exemple, par (E_{Mij}) les émissions de carbone importées par le pays i , associées à une production dont le *process* est polluant, en provenance du pays j , et $E_{Mi} = \sum_j E_{Mij}$ la somme de celles-ci.

S'agissant des émissions purement internes de chaque pays (émissions liées à une production polluante sur le sol national pour servir une demande interne, sans exposition à une concurrence internationale), celles-ci peuvent être associées à des marchés de biens polluants suivant les mêmes spécifications, si ce n'est que, dans ce cas, pour tout $j \neq i, X_{ij}^0 = 0$. On omettra alors les indices j , puisque seul le pays utilisateur produit. Associant l'indice Y à ce type de marché, (E_{Yi}) désigne donc les émissions de carbone internes du pays i . Les impacts redistributifs de la formule (7) étant internes au pays considéré, celui-ci supporte globalement le coût d'abattement correspondant (C_{Yi}), comme dans les modèles usuels de « jeux d'abattements ».

Ce cadre permet de distinguer les deux indicateurs des émissions territoriales (Z_k) et de l'empreinte carbone (F_k) pour caractériser les pressions de chaque pays (k) sur le climat. Ceux-ci sont définis respectivement par :

$$(9) \begin{cases} Z_k = E_{Yk} + \sum_i E_{Mik} \\ F_k = E_{Yk} + \sum_j E_{Mkj} = E_{Yk} + E_{Mk} \end{cases}$$

On aura donc pour les émissions totales $\bar{E} = \sum_k E_{Yk} + \sum_i \sum_j E_{Mij}$. Plus généralement, on utilisera la même notation générique pour désigner la valeur globale d'une certaine grandeur sur l'ensemble des flux, en surlignant la lettre utilisée pour les nommer d'où, par exemple pour le coût total d'abattements, $\bar{C} = \sum_k (C_{Yk} + C_{Mk})$. On a donc, en particulier :

$$(10) \quad \bar{E}^0 = \sum_k F_k^0 = \sum_k Z_k^0$$

S'agissant des bénéfices climatiques, on considère des dommages linéaires avec les émissions totales, chaque pays k supportant un coût γ_k par tonne de CO₂ présente dans l'atmosphère. Le surplus de chaque pays est alors obtenu en agrégeant, outre les bénéfices de l'action climatique pour celui-ci, les surplus nets réalisés sur les différents marchés où il intervient, tels que calculés ci-dessus (cf. (6), (7) et (8)) soit comme exportateur, soit comme importateur. Par rapport à la situation de référence sans tarification du carbone et en l'absence de transferts compensateurs, le surplus correspondant s'écrit donc :

$$(11) \quad \forall k, \quad W_k = \gamma_k (\bar{E}^0 - \bar{E}) - C_{Yk} + S_{Mk}^f + \sum_i S_{Mik}^t$$

avec, pour le surplus total :

$$(12) \quad \bar{W} = (\gamma^*) (\bar{E}^0 - \bar{E}) - \bar{C}$$

En l'absence d'émissions importées, les deniers termes de (11) sont nuls et le problème de passer clandestin à résoudre bien connu: l'efficacité sociale serait associée à la maximisation de \bar{W} d'où, par un calcul similaire à celui réalisé pour la proposition 1 : $\forall k, q_{Yk} = \gamma^*$ et $t_{Yk} = 0$, soit la tarification *pigouvienne* des émissions, avec un prix du carbone uniforme pour tous les pays. Mais le niveau de tarification du carbone que retiendrait chacun, pour les choix qui le concernent directement, serait beaucoup plus faible puisque les externalités positives de leurs efforts ne sont pas internalisées. Chaque pays appliquerait donc à ses émissions $q_{Yk} = \gamma_k$ (et $t_{Yk} = 0$). Les prix du carbone sont ainsi différenciés à l'équilibre, et trop faibles.

III- La coopération avec émissions importées

III-1 Principes

Ce qui nous intéresse ici n'est pas d'apporter des éléments originaux sur le plan méthodologique, mais d'identifier les éléments à prendre en compte pour appliquer la démarche esquissée par Cramton (op.cit.) lorsque l'on intègre les émissions liées au commerce. Pour cela, il faut prendre en compte que les mécanismes de vote majoritaire constituent des mécanismes de second rang, ici confrontés de plus au besoin de gérer des impacts distributifs entre pays.

En l'absence d'instruments généraux pour cela, la panoplie des instruments disponibles compte et il convient de ne pas la restreindre exagérément, *a priori*. A ce titre, nous admettrons que « la » tarification harmonisée du carbone puisse comporter potentiellement deux instruments, l'un *upstream*, l'autre *downstream* : la tarification sur le lieu des émissions et, éventuellement, une tarification de l'empreinte carbone ; soit un couple (q, u) ³. Ainsi, on pourra apprécier si

³ t , également uniforme, s'en déduit sachant que $u = \delta(q) + (q + t)\tilde{e}(q)$

cette dernière permet d'alléger certaines contraintes, et dans quels cas. Par ailleurs, on suppose, qu'en première étape, c'est-à-dire au niveau de l'accord pour une coopération fondée sur la tarification du carbone décidée sur un vote majoritaire, la répartition des droits de vote a été fixée et qu'une règle pour l'utilisation des recettes de la tarification carbone a été posée. Dans ce qui suit, cette répartition des droits de vote aura évidemment des conséquences importantes en ce qu'elle détermine l'agent médian et donc l'importance des biais associés, mais les propriétés intrinsèques du mécanisme qui seront mises en exergue valent généralement. En revanche, on verra que la nature des mécanismes redistributifs associés conditionne celles-ci et ce que l'on cherche à faire est de préciser à quelles conditions il est possible de construire un mécanisme ayant des propriétés similaires à ce que l'on attribue aux mécanismes de vote majoritaires pour la production des biens publics au sein d'un Etat.

A cet égard, la règle la plus naturelle consiste à supposer que chaque pays conserve les recettes réalisées sur son territoire. De cette manière, chacun d'eux dispose de revenus pour gérer les problèmes redistributifs internes associés à la tarification du carbone. Et on évite de transformer la politique climatique en instrument de redistribution entre pays, générant des transferts impraticables car allant bien au-delà du partage du surplus généré par celle-ci. Toutefois, on envisagera que cette règle de conservation des recettes soit complétée par un Fonds vert, réalisant certains transferts prédéterminés conditionnels, fonction des variables observables par tous (prix du carbone et émissions dans la situation de référence). En fait, on montrera que ceci est nécessaire, non seulement pour l'équité du mécanisme, mais aussi pour que celui-ci ne soit pas biaisé au-delà de la distorsion de l'agent médian, cette dernière étant, elle, consubstantielle au mécanisme.

Les niveaux de prix sont ensuite fixés par un mécanisme de vote à la majorité. Celui-ci pourra porter directement sur le prix (comme esquissé ci-dessus), ou sur le niveau d'émissions plafond. En d'autres termes, les deux instruments de la fiscalité environnementale et des marchés de quotas échangeables seront envisagés pour la mise en œuvre pratique du prix du carbone, suivant les deux schémas suivants :

-écofiscalité. L'engagement à appliquer la tarification commune du carbone est associé à la mise en place d'un « Fonds vert », redistribuant une certaine partie des recettes de cette fiscalité entre les pays, sur la base d'une règle prédéfinie équilibrée. Le choix porte ensuite directement sur le niveau des deux composantes possibles du prix du carbone.

- « *cap and trade* ». Dans ce cas, on est *a priori* plus restrictif. L'équité est traitée par la définition d'une règle de répartition prédéfinie pour l'allocation initiale des quotas. Par ailleurs, on écarte la tarification du carbone importé. Le vote porte sur le plafond global d'émissions, le prix des émissions territoriales émergeant ensuite du marché.

Dans le contexte de la production de biens publics au niveau des Etats, le recours aux mécanismes de vote majoritaire permet :

- (a) s'il est combiné à des règles d'achat public efficace, de minimiser les coûts engagés pour atteindre un niveau de bien public donné (***efficacité-coût de la répartition des efforts***),

- (b) d'assurer une répartition équitable du financement de ces coûts, compte-tenu du principe d'équité contributive devant l'impôt (***équité de la charge des efforts réalisés pour décarboner l'économie***). A cet égard, nous supposerons que celle-ci se mesure par

rapport à la richesse des pays, mesurée par leur poids dans la richesse totale ($\theta_k, \sum_k \theta_k = 1$),

- (c) d'inciter les pays à une démarche coopérative, ceci impliquant en particulier que la réunion de deux pays ayant les mêmes caractéristiques (hormis la taille) ne modifie pas leurs choix ou propositions de tarification (*incitation à coopérer*), et donc que si les situations sont homogènes (vote majoritaire in fine unanime), l'issue est le niveau d'ambition climatique de premier rang,

- (d) le niveau de bien public est seulement affecté du biais de l'agent médian, par rapport à la distribution des consentements à payer pour celui-ci compte-tenu de la répartition des droits de vote, ici celle des valorisations carbone des différents pays (*biais sur le choix de l'ambition climatique*).

S'agissant de ces valorisations, on considère que la richesse constitue le déterminant essentiel de leur répartition. Mais on ajoute un facteur d'exposition spécifique à chaque pays (ε_k , positif ou négatif). On note par ailleurs Γ un indice général de dommages valant pour l'ensemble de ceux-ci. Ainsi, on suppose que le pays k supporte un coût unitaire $\gamma_k = \theta_k(1 + \varepsilon_k)\Gamma$ par tonne de CO₂ dans l'atmosphère. On aura donc $\gamma^* = \sum_k \gamma_k = \sum_k \theta_k(1 + \varepsilon_k)\Gamma$ et $\hat{\gamma} = (1 + \hat{\varepsilon})\Gamma$ pour la valorisation globale déduite de la valeur $\hat{\varepsilon}$ de ε pour l'agent médian.

Enfin, on suppose que l'indice de gravité des dommages Γ est inconnu au moment où se négocie le mécanisme, et que les facteurs d'exposition spécifiques ne sont pas observables par les autres pays, le mécanisme de vote ayant vocation à en approcher la valeur moyenne pour choisir le niveau de protection pertinent. Ces valeurs réalisées ne peuvent donc conditionner les transferts associés à un éventuel Fonds vert. La question que nous nous poserons est alors de savoir si le mécanisme envisagé satisfait ces quatre conditions.

S'agissant de la première (a), la proposition 1 permet d'établir que ceci sera réalisé si la tarification est seulement territoriale ($t = 0$).

III-2 Hypothèses simplificatrices

Du côté des émissions, deux grandes sources d'hétérogénéité entre les pays sont envisageables : la première de structure, des productions, consommations et échanges des différents pays en termes d'intensité carbone ; la seconde, de plus ou moins grande sensibilité des comportements correspondants à la tarification du carbone, au travers des coefficients (ν, λ, ρ) .

Prolongeant les hypothèses faites précédemment au niveau de chaque marché de bien polluant, on suppose, dans un premier temps, que ces derniers sont communs à l'ensemble des marchés considérés, donc qu'on ne retient que la première. Ainsi, toute la structure des émissions qui, elle peut être très hétérogène entre pays et entre marchés (avec des spécialisations possibles sur les biens intensifs ou non en carbone, et des déséquilibres entre empreintes et émissions territoriales) se conserve si la tarification du carbone est uniforme, la spécialisation des différents pays demeurant alors inchangée.

Sous les deux hypothèses d'homogénéité des paramètres de sensibilité au prix des comportements (ν, λ, ρ) et de tarification du carbone (q, u) uniforme dans tous les pays, deux

fonctions, caractéristiques de la réduction des activités polluantes et des coûts d'abattement mis en œuvre en fonction de celle-ci, peuvent être introduites :

$$(13) \quad \begin{cases} \tilde{x}(u) = 1 - \lambda u \\ \tilde{C}(q, u) = \lambda u^2 / 2 + \tilde{\delta}(q) \tilde{x}(u) \end{cases}$$

Celles-ci caractérisent les impacts sur l'activité et les coûts d'abattement engagés, « par tonne de CO₂ émise en situation de référence », les impacts pour chaque pays s'en déduisant simplement en y appliquant la valeur des émissions de référence. Ainsi, la première équation permet de retrouver la première et la dernière équation de (3), et la seconde (8) sachant que $(\forall j, q_j = u)$. Les émissions par tonne émise en situation de référence valent par ailleurs $\tilde{e}(q) \tilde{x}(u)$.

Les surplus marchands « empreinte » (importateur) et « territoire » (exportateurs) définis par (6), résultent alors de l'application des fonctions suivantes aux émissions initiales concernées :

$$(14) \quad \begin{cases} \tilde{S}^f(q, u) = -\rho \tilde{C}(q, u) - \rho q \tilde{e}(q) \tilde{x}(u) + (1 - \rho)(u - \tilde{c}(q)) \tilde{x}(u) \\ \tilde{S}^t(q, u) = -(1 - \rho) \tilde{C}(q, u) + \rho q \tilde{e}(q) \tilde{x}(u) - (1 - \rho)(u - \tilde{c}(q)) \tilde{x}(u) \end{cases}$$

Si l'on suppose une écofiscalité du carbone harmonisée, associée à la règle de redistribution des recettes suivant laquelle chaque pays conserve les recettes réalisées sur son territoire (taxation des émissions territoriales et tarification éventuelle des empreintes), on peut réévaluer les formules (11) et (12). En effet, étant noté qu'alors :

$$(15) \quad \begin{cases} C_{Yk} = E_{Yk}^0 \tilde{C}(q, u) \\ S_{Mk}^f = E_{Mk}^0 \tilde{S}^f(q, u) \\ \sum_i S_{Mik}^t = (\sum_i E_{Mik}^0) \tilde{S}^t(q, u) \end{cases}$$

et que $\tilde{S}^f(q, u) = -\tilde{C}(q, u) - \tilde{S}^t(q, u)$, les équations (11) et (12) se réécrivent :

$$(16) \quad \forall k, \quad W_k(q, u) = \theta_k \bar{E}^0 [(1 + \varepsilon_k) \Gamma(1 - \tilde{e}(q) \tilde{x}(u)) - \left(\frac{F_k^0}{\theta_k \bar{E}^0} \right) \tilde{C}(q, u) + \left(\frac{Z_k^0 - F_k^0}{\theta_k \bar{E}^0} \right) \tilde{S}^t(q, u)]$$

$$(17) \quad \bar{W}(q, u) = \bar{E}^0 [\gamma^* (1 - \tilde{e}(q) \tilde{x}(u)) - \tilde{C}(q, u)]$$

Au niveau global, les transferts entre pays se compensent. En revanche, la formule (16) met en exergue les termes complémentaires distributifs à prendre en compte quand on intègre le commerce, par rapport aux modèles de coopération climatique ne considérant que des courbes d'abattement nationales agrégées. Cependant, la factorisation de θ_k dans cette formule (16) assure que la condition (c) est vérifiée.

Proposition 2. Le mécanisme de vote majoritaire pour un système de prix du carbone harmonisé supprime les incitations à se comporter en passager clandestin.

C'est évidemment ce que l'on attend d'un mécanisme de vote majoritaire pour la production des biens publics, qui permet de sortir des deux impasses de l'équilibre de souscription ignorant

les externalités associées à la production des biens public, et une exigence d'unanimité inaccessible.

Par ailleurs, s'il n'est pas recouru à la tarification du carbone importé ($t = 0$), on rappelle que l'on a alors $u = \tilde{c}(q)$. Les émissions totales, le coût d'abattement total et la recette totale de la tarification valent alors:

$$(18) \quad \begin{cases} \bar{E}^*(q) = \tilde{e}(q)\tilde{x}(\tilde{c}(q))\bar{E}^0 \\ \bar{C}^*(q) = \tilde{C}(q, \tilde{c}(q))\bar{E}^0 \\ \bar{R}^*(q) = q\tilde{e}(q)\tilde{x}(\tilde{c}(q))\bar{E}^0 \end{cases}$$

La condition (a) étant satisfaite, la répartition des efforts pour atteindre ce niveau d'émissions est efficace, et le coût d'abattement engagé correspond au coût minimal. On notera $\bar{C}^*(\bar{E})$ ce dernier en fonction du niveau d'émissions total. Il est associé à un prix du carbone $q = \bar{C}^{*'}(\bar{E})$.

III-3 La coopération en l'absence de biais climatique du commerce international

Compte-tenu de (13), les indicateurs de pression sur l'environnement (émissions territoriales et empreintes) définis par (9) valent :

$$\begin{cases} Z_k = Z_k^0 \tilde{e}(q)\tilde{x}(u) \\ F_k = F_k^0 \tilde{e}(q)\tilde{x}(u) \end{cases}$$

Dans le cas où il y aurait, dans la situation de référence, égalité entre importations et exportations de carbone pour tous les pays ($\forall k, Z_k^0 = F_k^0$), celle-ci vaudrait donc encore quand la tarification du carbone est uniforme. On dira alors que le commerce international n'est pas biaisé du point de vue climatique, les déséquilibres éventuels ne pouvant provenir que de l'hétérogénéité des politiques d'atténuation, écartée dans le cadre du mécanisme de coopération retenu.

Bien qu'on ait rappelé en introduction que cette hypothèse ne corresponde pas à la réalité, elle prévaut, en particulier, dans les modèles de coopération climatique ignorant les émissions associées au commerce international. Elle est aussi intéressante à considérer pour souligner que la transposition des mécanismes de vote majoritaire à la coopération climatique ne peut se passer en général d'un dispositif de Fonds vert.

Certes, les transferts induits sur les différents marchés par une tarification uniforme du carbone selon que le pays est importateur ou exportateur se compensent alors, chacun étant également l'un et l'autre. Ainsi, le dernier terme de l'équation (16) est nul et celle-ci se réécrit :

$$(19) \quad \forall k, W_k = \theta_k \bar{E}^0 [(1 + \varepsilon_k)\Gamma(1 - \tilde{e}(q)\tilde{x}(u)) - \left(\frac{Z_k^0}{\theta_k \bar{E}^0}\right) \tilde{C}(q, u)]$$

La tarification du carbone préférée par le pays k , sachant qu'elle s'appliquera aussi à tous les autres, vaut donc :

$$(20) \quad \tilde{q}_k = (1 + \varepsilon_k) (\theta_k \bar{E}^0 / Z_k^0) \Gamma; \tilde{t}_k = 0$$

Tous les pays s'accordent ainsi pour une tarification au lieu d'émissions seulement, la possibilité ouverte de recourir en complément à une tarification de l'empreinte carbone s'avérant donc inutile. L'effet passager clandestin étant par ailleurs éliminé, les deux conditions (a) et (c) sont satisfaites.

Proposition 3. Si le commerce international n'est pas biaisé du point de vue climatique, le mécanisme de vote majoritaire sur un prix harmonisé du carbone, associé à la règle de conservation des recettes prélevées sur son territoire par chaque pays, conduit à une allocation n'utilisant pas la tarification du carbone importé, donc coût-efficace, et exempte des biais de passager clandestin.

Le même résultat est obtenu avec un marché de quotas⁴, avec une règle d'allocation des quotas (ou de réduction des émissions territoriales) proportionnelle aux émissions territoriales initiales (*grandfathering*), chaque pays recevant une part (Z_k^0 / \bar{E}^0) de l'allocation globale choisie \bar{E} . En effet, la valeur des quotas ainsi alloués est identique à la recette fiscale au lieu d'émissions, pour un même niveau global d'émissions et la formule (16) s'applique donc (avec $t = 0, u = \tilde{c}(q)$).

Quel que soit l'instrument choisi pour mettre en place la coopération pour un prix uniforme du carbone -harmonisation de l'éco-fiscalité ou marché de quotas- cette approche a donc le mérite, non seulement d'assurer l'efficacité coût, mais aussi de favoriser un renforcement drastique de l'effort de réduction des émissions, par rapport à son niveau à l'équilibre de souscription.

Cependant, ceci n'emporte pas, en général, l'obtention des conditions (b) et (d). En effet, le vote sélectionnera la valeur correspondant à la médiane de la distribution de (\tilde{q}_k) , eu égard aux droits de vote ayant été attribués aux différents pays, non $\hat{\gamma} = (1 + \varepsilon)\Gamma$. Et la répartition du coût des efforts ne respecte pas le principe de contributivité. En effet, l'hétérogénéité des intensités carbone implique que les pays plus intensifs en carbone ($Z_k^0 / \theta_k \bar{E}^0$ élevé) se trouvent relativement plus mis à contribution, puisque le coût marginal d'abattement est identique pour tous les pays, mais l'effort est plus lourd relativement pour ceux qui ont des émissions de référence plus élevées.

La simplicité de la règle de conservation des recettes par chaque pays a ainsi l'inconvénient de laisser à la charge des pays intensifs en carbone -en pratique, certains grands pays émergents-, une part de l'effort de réduction relativement plus élevée. Corrélativement, ceux-ci souhaitent un prix plus faible. Dans ces conditions, on ne reproduit pas ainsi l'équivalent d'une procédure classique de vote pour un bien public, les deux conditions (b) et (d) n'étant pas satisfaites : la répartition du coût des efforts n'est pas équitable au regard de la richesse (θ_k) , et ceci biaise le choix du niveau d'ambition globale.

Ce problème peut être résolu par la mise en place d'un mécanisme complémentaire paramétrique de transferts compensateurs, dans le cadre d'un Fonds vert. En effet, l'ampleur relative des surcoûts d'abattements est ici directement reliée aux écarts d'émissions par unité de richesse dans la situation de référence $((\frac{Z_k^0}{\bar{E}^0}) - \theta_k)$, qui sont observables. Il est donc possible de mettre en place un système de transferts complémentaires (T_k) tel que chaque pays (k) recevrait, en plus de la conservation des recettes de la tarification du carbone sur son territoire, un transfert conditionnel à la tarification qui sera mise en œuvre :

⁴ Comme cela est privilégié par Gollier et Tirole (2015)

$$(21) \quad T_k = \tilde{T}_k(q, u) = \left(\frac{Z_k^0}{E^0} \right) - \theta_k \bar{E}^0 \tilde{C}(q, u)$$

L'ensemble de ces transferts est bien défini selon une règle préétablie, structurellement équilibrée et fondée sur des données observables : structure des émissions en situation de référence et tarification du carbone qui sera appliquée. Ils permettent de ramener le coût supporté par chaque pays à la moyenne. Chaque pays l'anticipant si le mécanisme est crédible, cet élément de biais dans le processus de vote disparaît, celui-ci se référant désormais aux impacts :

$$(22) \quad \forall k, \quad W_k = \theta_k \bar{E}^0 [(1 + \varepsilon_k) \Gamma(1 - \tilde{e}(q) \tilde{x}(u)) - \tilde{C}(q, u)]$$

Ne reste alors que le biais lié à l'exposition particulière ($\hat{\varepsilon}$) de l'agent médian pour la distribution des dommages climatiques par unité de PIB :

$$(23) \quad q - \gamma^* = (\hat{\varepsilon} - \sum_k \theta_k \varepsilon_k) \Gamma$$

Proposition 4. Associé à un Fonds vert assurant une répartition équitable des coûts d'abattement, le mécanisme proposé satisfait toutes les propriétés des mécanismes de vote majoritaire au niveau des Etats, si le commerce international n'est pas biaisé du point de vue climatique. Seule la tarification territoriale des émissions est utilisée et les formules de Fonds vert à mettre en place ne dépendent pas des caractéristiques de l'incidence fiscale (ρ).

Pour obtenir le même résultat avec un marché de quotas, il suffit de moduler la règle de base du *grandfathering* par des allocations complémentaires de quotas à chaque pays (positives ou négatives, globalement équilibrées), telles que :

$$(24) \quad A_k = \tilde{A}_k(\bar{E}) = \left(\frac{Z_k^0}{E^0} \right) - \theta_k \bar{C}^*(\bar{E}) / \bar{C}'(\bar{E})$$

III-4 Comment adapter plus généralement les formules de Fonds vert ?

Le résultat précédent suggère que traiter globalement les problèmes distributifs semble plus aisé que de le faire au niveau de chaque marché de bien polluant (approches dites « sectorielles »). Plus précisément, dans le cas plus réaliste où le commerce n'est pas neutre du point de vue climatique, le dernier terme de la formule (16) montre que seuls les transferts nets entre ceux obtenus ou subis respectivement pour les émissions importées et pour les émissions exportées sont à prendre en compte. Et on déduit immédiatement de la comparaison de (16) et (22) que la formule générale de Fonds vert suivante permet de se ramener au problème précédent:

$$(25) \quad \tilde{T}_k(q, u) = \left(\frac{F_k^0}{E^0} \right) - \theta_k \bar{E}^0 \tilde{C}(q, u) - (Z_k^0 - F_k^0) \tilde{S}^t(q, u)$$

avec $\tilde{S}^t(q, u) = -(1 - \rho) \tilde{C}(q, u) + \rho q \tilde{e}(q) \tilde{x}(u) - (1 - \rho)(u - \tilde{c}(q)) \tilde{x}(u)$

Les transferts correspondants sont bien équilibrés. Par ailleurs, la tarification du carbone qui émergera ensuite du processus de vote n'utilisera que la tarification sur les lieux d'émissions, donc ($t = 0, u = \tilde{c}(q)$). Les effets distributifs de la tarification du carbone sont donc mieux traités par un tel Fonds vert que par une tarification de l'empreinte carbone.

Celui-ci comporte désormais deux termes, dépendant tous deux du coefficient d'incidence fiscale :

- le premier compensateur comme précédemment, pour égaliser la charge des coûts d'abattement,
- le second s'interprétant en termes de correction des impacts commerciaux (termes de l'échange) ou de restitution partielle de la recette fiscale.

Exprimant ceux-ci en fonction des grandeurs introduites en (18), on peut donc énoncer.

Proposition 5. En présence de déséquilibres structurel des balances carbone, le recours à la taxation des importations demeure inutile si le Fonds vert approprié est en place. Assurant au mécanisme les propriétés des mécanismes de vote majoritaire au niveau des Etats, celui-ci:

-compense les écarts de coûts d'abattement supportés par les différents pays. Le poids relatif à accorder aux deux mesures des émissions des pays dépend de ρ , le transfert à opérer pour chaque pays valant $((1 - \rho)Z_k^0 + \rho F_k^0)/\bar{E}^0 - \theta_k) \bar{C}^(q)$;*

-compense les pertes nettes de pouvoir d'achat résultant de la tarification sur le lieu d'émissions, par des transferts égaux à $-\rho((Z_k^0 - F_k^0)/\bar{E}^0) \bar{R}^(q)$*

On notera que le second terme s'exprime directement comme une fraction de la recette totale de la tarification, selon un coefficient fonction de l'incidence fiscale et des degrés de déséquilibre entre empreinte et émissions territoriales, alors que le premier terme redistribue une fraction du coût d'abattement, pour en égaliser la charge. Le poids relatif de ce dernier sera d'autant plus élevé que l'ambition climatique sera forte.

Pour obtenir le même résultat avec les marchés de quotas, les compléments à apporter en plus ou moins du *grandfathering* sont les suivants :

$$(26) \quad A_k = \tilde{A}_k(\bar{E}) = \frac{\left(\frac{(1-\rho)Z_k^0 + \rho F_k^0}{\bar{E}^0} - \theta_k \right) \bar{C}^*(\bar{E})}{\bar{C}^{*'}(\bar{E})} - \rho \left((Z_k^0 - F_k^0) / \bar{E}^0 \right) \bar{E}$$

La déclinaison de cette formule générale de Fonds vert pour les cas polaires permet d'illustrer comment interagissent l'incidence et les déséquilibres entre émissions territoriales de CO₂ et empreintes carbone.

Côté exportateur « price-taker » : $\rho = 0$

Ce cas correspond à une situation où la production des biens polluants exportés est à rendements décroissants et la demande pour ceux-ci infiniment élastique. Le côté exportateur supporte *in fine* les coûts d'abattement et l'éventuelle tarification du carbone importé, qui obligerait en effet les producteurs à baisser leur prix.

Dans ces conditions, les pays importateurs de carbone auraient certes intérêt à utiliser ce dernier instrument pour des raisons protectionnistes. Mais, la réciprocité de la tarification harmonisée les en prévient. Par ailleurs, la fiscalité sur les émissions n'étant pas transmise à l'aval, la formule de transferts à mettre en œuvre dans le Fonds vert se limite alors à la répartition

équitable du coût des efforts, en considérant les émissions sur le sol national en situation de référence (et non l’empreinte carbone) ; sans ajouter de terme complémentaire, puisqu’il n’y a pas transmission de la charge fiscale à l’aval.

Dans ce cas, la tarification de l’empreinte carbone aggraverait plutôt les problèmes distributifs à résoudre qu’elle ne les allègerait.

« *Pass-through* » complet: $\rho = 1$

La production des biens polluants exportés est à rendements constants. Le côté importateur supporte *in fine* les coûts d’abattement et aussi la tarification du carbone sur le lieu d’émissions, qui est transmise dans les prix. Cette tarification est favorable en termes d’orientation des choix, puisqu’elle affecte les choix de production et, étant transmise, ceux de consommation. Mais elle est intégralement supportée par l’aval. Le Fonds vert doit donc corriger cet effet. Pour cela, il faut compenser les écarts de coûts sur la base des empreintes carbone dans la situation de référence, puisque ce sont les pays importateurs qui, finalement, supportent les coûts d’abattements. Par ailleurs, il faut corriger le transfert de la charge fiscale à l’aval.

Un tel mécanisme permet encore de se passer de l’instrument de la taxation du carbone importé. Dans ce cas, cette dernière aurait cependant le mérite de limiter les transferts induits par la tarification du carbone entre pays importateurs et pays exportateurs. Si, de plus, l’orientation des *process* est secondaire (situation peu réaliste cependant, de manière générale), une harmonisation de la tarification du carbone pourrait alors se situer au niveau aval des accises pour les émissions internes, et d’une tarification du carbone importé, le Fonds vert se limitant à la compensation des différentiels de coûts d’abattements supportés.

Ces éléments permettent donc de cerner plus généralement quand la taxation des importations de carbone peut présenter un intérêt, et pour quel motif : essentiellement d’efficacité lorsque la tarification à la source n’a pu se réaliser ; et, du point de vue redistributif, pour limiter son impact sur le pouvoir d’achat des pays importateurs nets de carbone par rapport à des produits essentiels, si cela ne peut être réglé au sein d’un Fonds vert.

III-5 Application

Afin d’illustrer les enjeux, le tableau 1 ci-dessous calcule les paramètres précédents pour les plus gros pollueurs.

	Chine	Amérique du Nord	Europe à 27	Inde	Reste du monde
1-Emissions CO ₂ Z _k ⁰ (Gt)	11,3	6,4	3,1	2,6	14,5
2-GES/u.PIB (kg CO ₂ / \$ ppa)	538	261	158	341	272
3-Excès Em. Terr. Z _k ⁰ - F _k ⁰ (Gt)	1,2	-0,5	-0,7	+0,2	-0,2

4-Part émissions $\left(\frac{Z_k^0}{E^0}\right)$ (%)	29,8	16,9	8,2	6,9	38,2
5- Taille θ_k (%)	16,6	19,4	15,5	6,1	42,4
6- $\left(\frac{Z_k^0}{E^0}\right) - \theta_k$ (%)	13,2	-2,5	-7,3	0,8	-4,2
7- $\left(\frac{F_k^0}{E^0}\right) - \theta_k$ (%)	10,1	-1,2	-5,5	0,3	-3,7
8- $(Z_k^0 - F_k^0)/E^0$ (%)	3,1	-1,3	-1,8	+0,5	-0,5

Tableau 1 : *Structure des émissions mondiales* (Source : chiffres-clés du climat (2020))

Si la dernière ligne du tableau met en exergue l'assiette des corrections éventuelles à apporter du fait des écarts entre émissions exportées et importées pour les différents pays, l'élément qui demeure dominant est l'importance des écarts d'émissions par unité de PIB, quel que soit l'indicateur retenu pour les émissions, entre pays émergents d'un côté, notamment la Chine, et l'Europe à l'autre extrême. Par ailleurs, les corrections se compensent partiellement, ce qui limite le volume des transferts à envisager.

Pour fixer les ordres de grandeurs, on s'est livré à une application numérique considérant des paramètres tels que le niveau total des émissions serait réduit de moitié pour un prix du carbone de 200\$/tCO₂, la réduction des émissions unitaires et celle de l'activité des secteurs polluants contribuant également. Sous l'hypothèse d'un coefficient d'incidence égal à 0.5, le Fonds vert opérerait un transfert à la Chine représentant 3,9% de la recette totale des émissions carbone (ou du total du quota distribué si l'on recourt au marché de permis), essentiellement en provenance de l'Europe et du reste du monde. En effet, dans cet exercice, l'Europe payerait son exemplarité puisque l'on a supposé que sa performance dans la situation de référence ne lui avait rien coûté.

Cependant, les écarts d'intensité carbone retenus reflètent des inefficacités des systèmes de production héritées, qui se résorbent rapidement (cf. Annexe 8), ce qui permet d'envisager sans doute un Fonds vert de moindre ampleur. En tout état de cause, ceci souligne à quel point la question de l'équité doit être abordée de front pour construire la coopération climatique, en suggérant cependant que, dans le cadre du mécanisme proposé, les transferts à réaliser quoique substantiels sont envisageables, notamment si on utilise les marchés de permis, comme le suggèrent Gollier et Tirole (2015).

III-6 Clubs climatiques et émissions importées

Dans le cadre proposé, tous les pays gagneraient à la mise en œuvre d'une telle organisation (sauf facteur spécifique de « non-exposition » élevé ou de rentes fossiles dominantes). En effet, le comportement de passager clandestin est écarté au niveau du choix du niveau d'effort, au biais de l'agent médian près, et le coût des efforts de protection est équitablement réparti par rapport aux « capacités contributives ».

Cependant, ceci ne suffit pas. En effet, rester en dehors du « club climatique » permet au pays qui choisirait cette option de ne pas supporter de coût pour la transition écologique, tout en bénéficiant des efforts du groupe de pays plus ambitieux. Il faut donc considérer aussi la question de la participation au mécanisme (Barrett, 2006, Martimort et Sand-Zantman, 2016). C'est d'ailleurs à ce niveau que se trouve la spécificité des biens publics globaux. En effet, l'obligation de payer des impôts est consubstantielle de la légitimité étatique. Et, pour les biens publics locaux, il est généralement possible d'imposer une exclusion d'usage. Dans ces conditions, on a besoin aussi :

- de dispositions incitant à rejoindre le « club climatique ». Différents instruments sont mobilisables pour y inciter (par la fixation d'un taux de participation minimal pour l'entrée en vigueur du dispositif, pour mettre en situation d'agent-pivot les pays clefs; par l'attribution des droits de vote, pour attirer les plus petits pays ; et par la pénalisation de la non-participation, à l'instar de ce qui avait été fait dans le cadre du protocole de Montréal en combinant des leviers commerciaux et technologiques ou, comme proposé par Nordhaus (2015), un droit uniforme imposé aux pays non-participants). La pénalisation des comportements de passager clandestin étant nécessaire pour stabiliser toute coalition climatique, de tels instruments sont concevables dans l'esprit de l'article XX du GATT, pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris. A ce titre, ils devraient donc être acceptables, sous réserve de l'absence de restriction inutile au commerce, et que le club climatique soit ouvert à qui voudrait le rejoindre (Bureau et al., 2017). Les mécanismes d'ajustement carbone aux frontières peuvent aussi jouer un rôle important pour favoriser cet élargissement (Al Khourdajie et Finus, 2020).

-et, compte-tenu des enjeux liés à l'empreinte carbone, que le « club climatique » s'attache à réguler les émissions importées hors coalition, tant que celle-ci demeure partielle. Il est alors justifié de combiner tarification des émissions territoriales au sein du club et tarification des émissions importées en provenance des pays tiers, comme vu dans la seconde partie (II-4).

III-7 Extensions et compléments

L'analyse qui précède repose sur une hypothèse générale d'homogénéité des paramètres de sensibilité des comportements au sein et entre les différents marchés de biens polluants. Cependant, le modèle peut être enrichi en considérant plusieurs marchés de biens polluants par pays utilisateur, en fonction de leurs coefficients de sensibilité et d'incidence fiscale (ν, λ, ρ).

L'extension considérerait alors plusieurs types de biens polluants (l), chaque type étant caractérisé par un triplet $(\nu_l, \lambda_l, \rho_l)$, dont se déduisent les fonctions d'émissions, de coûts d'abattement et de surplus net définies ci-dessus. La proposition 5 fournit les éléments de Fonds vert à considérer pour chaque type de bien, qu'il suffit ensuite de sommer sur les différents types. Dès lors que celui-ci serait en place, l'impact sur chaque pays s'exprime par une formule du type (22), assurant une répartition équitable des coûts d'abattement. Il en résulte que le vote à la majorité pour un prix harmonisé du carbone permet de réaliser les 4 conditions recherchées.

Proposition 6. La formule du Fonds vert étant adaptée à l'hétérogénéité des marchés des biens polluants, la tarification du carbone choisie par vote à la majorité n'est affectée que du biais de l'agent médian. La tarification du carbone importé est inutile.

S'agissant de la spécification des marchés des biens polluants, il n'y a pas de difficulté à relâcher l'hypothèse affectant chaque marché à un pays utilisateur unique tant qu'on retient une hypothèse similaire à celle faite côté offre pour la répartition de la demande entre pays actifs sur le marché. Le coût d'abattement pour une tarification quelconque (cf. II-3) intégrera alors en plus un terme reflétant les distorsions éventuelles du côté consommation. Mais les analyses de la tarification unilatérale et celle de la coopération fondée sur un prix uniforme seront similaires.

Au-delà, l'introduction de sensibilités des courbes d'émissions et d'offre (et éventuellement de demande) différentes pour chaque pays actif sur un marché particulier ne pose pas de difficulté de principe pour étendre les formules (3) et (4). Mais l'analyse des impacts et donc la définition des formules de Fonds vert devient alors plus complexe, nécessitant de procéder au cas par cas, sur la base de données empiriques. Le schéma 2 ci-dessous, qui considère deux segments d'offre, dont l'un totalement inélastique (1) en fournit cependant l'intuition : tant que le segment élastique (2) est actif, c'est celui-ci qui détermine la sensibilité marginale de la courbe d'offre globale, et par là les impacts côté utilisateur ; côté offre, le segment inélastique supporte directement les effets prix et le coût de ses efforts d'abattement.

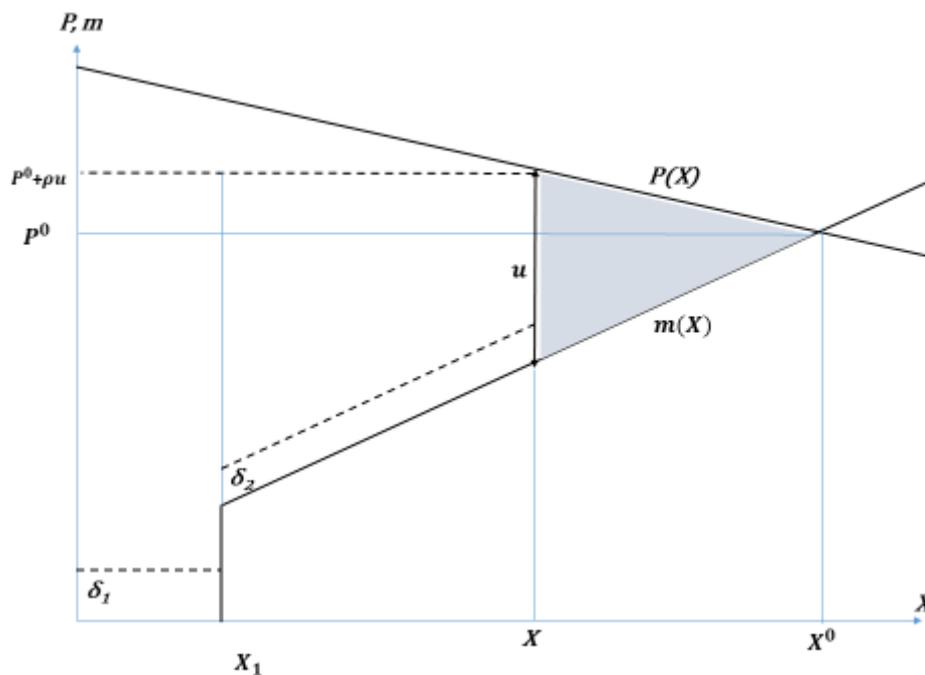


Schéma 2. Marché de bien polluant avec courbes d'offre structurellement différenciées

De même, il est envisageable de relâcher l'hypothèse de concurrence pure et parfaite, ce qui amènerait potentiellement à la fois l'analyse des impacts des différents types de tarification du carbone et celle de ses impacts distributifs.

S'agissant des compléments, un point qui a été laissé dans l'ombre est celui de la règle de répartition des droits de vote. A cet égard, si l'on poursuit l'analogie avec ce qui se passe au niveau des Etats dans les pays démocratiques, le principe est évidemment celui de droits par habitant (associé au principe de financement contributif des dépenses publiques).

Dans ce contexte, on a plutôt en tête un accord pouvant impliquer de manière ultime toutes les parties à l'accord de Paris, mais commençant par l'Europe et une quinzaine de participants. Ceci n'empêche nullement une approche par vote majoritaire, chaque pays membre disposant

d'un nombre de voix reflétant les populations. Cependant, l'expérience des fédérations nous enseigne que la règle n'est alors pas proportionnelle strictement, des modulations étant nécessaires pour que les entités les plus petites conservent une identité.

Conclusion

L'observation des écarts existant entre les GES induits par la demande finale intérieure des pays développés (« empreinte carbone ») et les inventaires territoriaux met en exergue la nécessité de réduire aussi les émissions importées. La tarification des empreintes carbone peut y contribuer. Mais elle requiert des négociations délicates compte-tenu de ses impacts distributifs, notamment vis-à-vis de pays exportateurs « *price-takers* ». Par ailleurs, ce n'est pas directement un substitut à une coopération climatique élargie, qui permettrait de réguler les émissions avec plus d'ambition, et en faisant levier aussi sur les *process*.

Le mécanisme étudié transpose les institutions usuelles existant pour gérer les biens publics au niveau des Etats ou de biens publics locaux. Dans un contexte où les émissions importées apparaissent comme un enjeu important, une telle coopération visant la mise en place d'un prix harmonisé du carbone présente, en plus des arguments habituels, le quadruple intérêt : d'écarter d'emblée les objections liées aux distorsions commerciales induites par les politiques climatiques; d'assurer la régulation des émissions importées et celle des émissions internes avec le même niveau d'ambition ; d'agir à la fois sur l'usage des produits importés ainsi que sur leurs modes de production ; et de n'avoir à traiter que des effets distributifs nets de la tarification du carbone impliquant les échanges. Dans ce cadre, le recours à la taxation des importations devient inutile, sauf vis-à-vis des non-participants

Cependant, un Fonds vert est nécessaire pour répartir l'effort équitablement. De plus, ses règles doivent être adaptées quand on intègre les émissions liées au commerce, ce qui n'a pas été pointé jusqu'à présent dans les débats sur l'article 6 de l'Accord de Paris. Les conditions correspondantes ont été précisées.

Bibliographie

Al Khourdajie, A. et M. Finus (2020). Measures to enhance the effectiveness of international climate agreements: The case of border carbon adjustments. *European Economic Review*, 124, 103405.

Barrett S. (2006), « Climate Treaties and "Breakthrough" Technologies », *American Economic Review*, 96 (2), 22-25

Beccherle J. et J. Tirole (2011), « Regional initiatives and the cost of delaying binding climate change agreements », *Journal of Public Economics*, Volume 95, Issues 11–12, December 2011, pp. 1339-1348

Böhringer C., Schneider J. et E. Asane-Otoo (2021), « Trade in carbon and carbon tariffs », *Environmental and Resource Economics* (2021) 78:669–708

Blanchard O. et J. Tirole (2021), « Major Future Economic Challenges », https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-2021-rapport-anglais-les_grands_defis_economiques-juin_1.pdf

Bureau D., Fontagné L. et K. Schubert (2017), « Commerce et climat : pour une réconciliation », *Conseil d'analyse économique*, note n°37

Carattini S., Simon Levin S. et A. Tavoni (2019). « Cooperation in the Climate Commons » *Review of Environmental Economics and Policy*, volume 13, issue 2, Summer 2019, pp. 227–247

CCNUCC (2015), « Accord de Paris », Nations unies

Copeland B. et S. Taylor (2005), « Trade and the Environment : Theory and Evidence », *Princeton Series in International Economics*, Princeton University Press

Cramton P., Ockenfels A. et S. Stoft (2015), « An international carbon-price commitment promotes cooperation », *Economics of energy and environmental policy* 4(2)

Flannery B., Hillman J., Mares J.W. and M. Poerterfield (2018), « Framework proposal for a US-upstream greenhouse gas tax with WTO-compliant border adjustments », *Ressources for the future report*

Gollier C. et J. Tirole (2015), « Negotiating effective institutions against climate change », *Economics of energy and environmental policy* 4(2), 5-27

Haut Conseil pour le Climat (2020), « Maitriser l'empreinte carbone de la France », hautconseilclimat.fr

Martimort D. de W. Sand-Zantman (2016). « A Mechanism Design Approach to Climate-Change Agreements », *Journal of the European Economic Association*, 14 (3), p.669-718

Mehling M., van Asselt H., Das K., Droege S. et C. Verkuil (2017), « Designing Border Carbon Adjustments for Enhanced Climate Action », *Climate Strategies*

PWC, 'The Long View. How will the global economic order change by 2050?' (2017).
www.pwc.com

Nordhaus, W. (2015), « Climate Clubs: Overcoming Free-riding in International Climate Policy», *American Economic Review* 2015, 105(4): 1339–1370.

SDES et I4CE (2021), « Chiffres-clefs du climat 2022. France, Europe et monde », Ministère de la transition écologique, Paris

Tulkens H. (2019), « Economics, Game Theory and International Environmental Agreements », *The Ca'Foscari Lectures in Economics*, vol.7, World Scientific

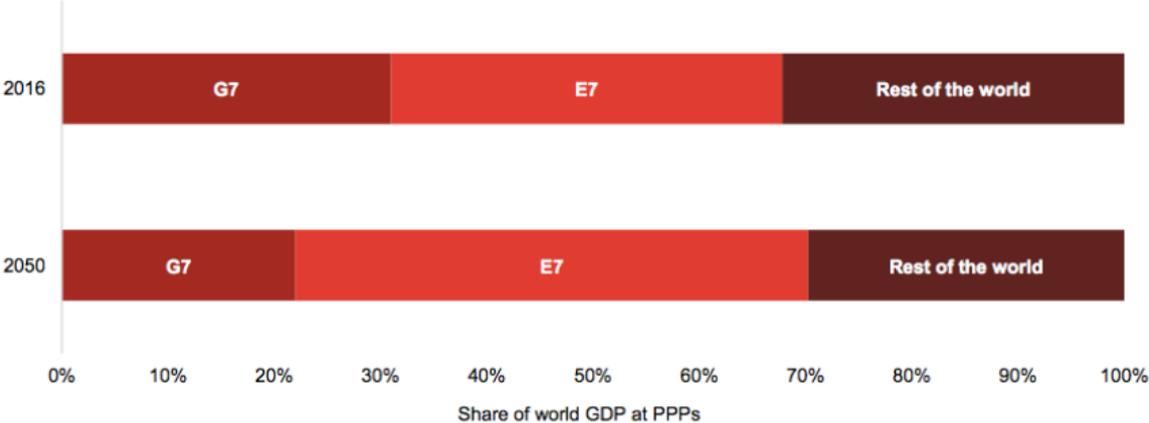
Annexe 1. Evolution tendancielle des PIB (PWC, 2017)

Emerging markets will dominate the world's top 10 economies in 2050 (GDP at PPPs)

	2016	2050	
China	1	1	China
US	2	2	India
India	3	3	US
Japan	4	4	Indonesia
Germany	5	5	Brazil
Russia	6	6	Russia
Brazil	7	7	Mexico
Indonesia	8	8	Japan
UK	9	9	Germany
France	10	10	UK

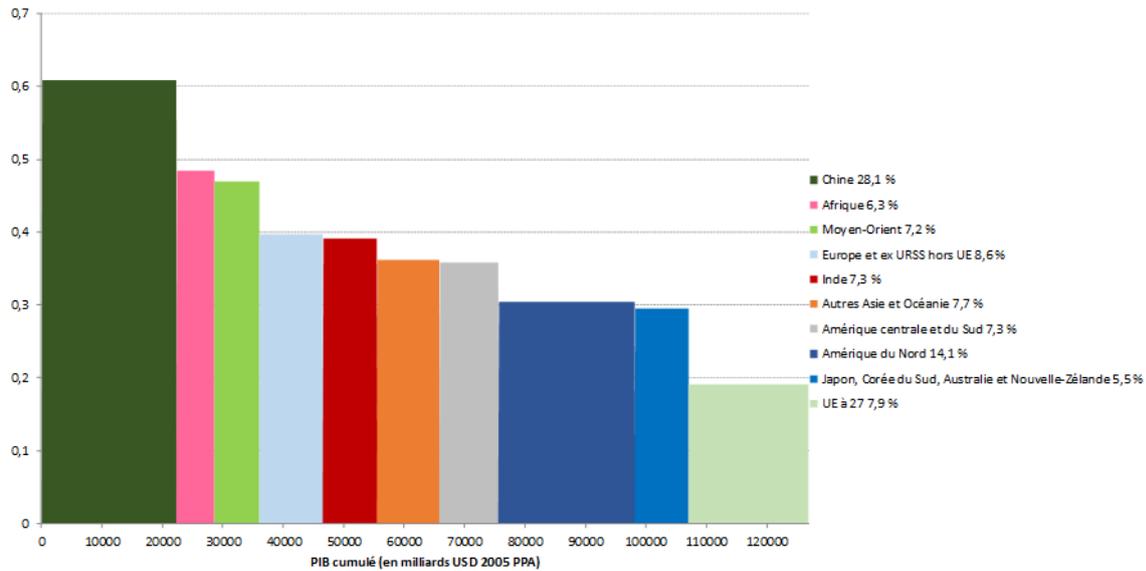
E7 economies
 G7 economies

Figure 1: Projected change in shares of world GDP from 2016 to 2050



Annexe 2. Facteurs de différenciation des émissions par pays

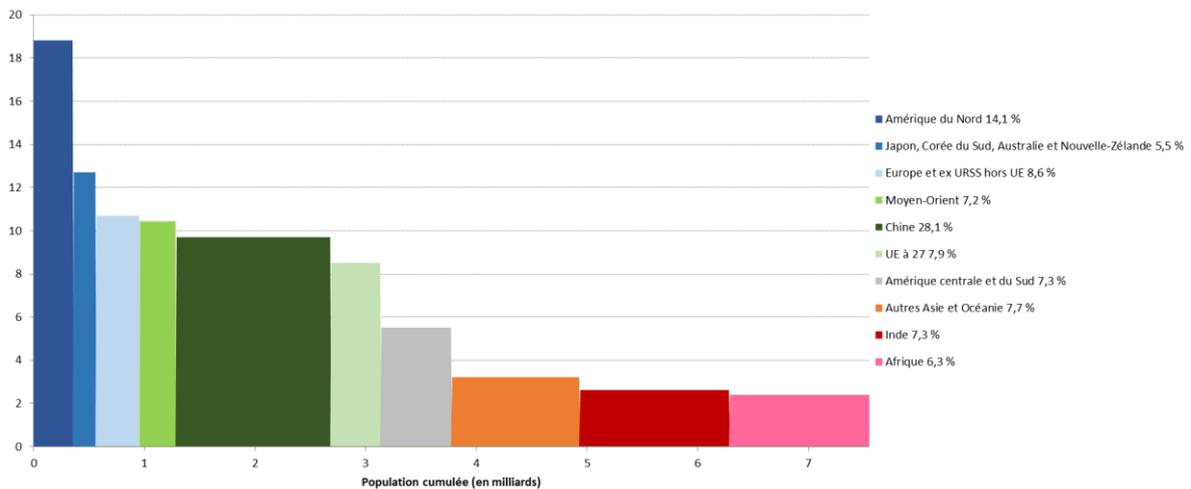
ÉMISSIONS RÉGIONALES DE GES PAR UNITÉ DE PIB EN 2018 HORS UTCATF
En kg CO₂ éq / US \$ 2005 PPA



Note : Sont inclus les émissions des trois principaux GES (N₂O, CH₄ et CO₂) hors UTCATF.
Les pourcentages indiquent la proportion des émissions d'une région par rapport aux émissions mondiales.
Sources : IACE, à partir de JRC EDGAR et Banque mondiale, 2021

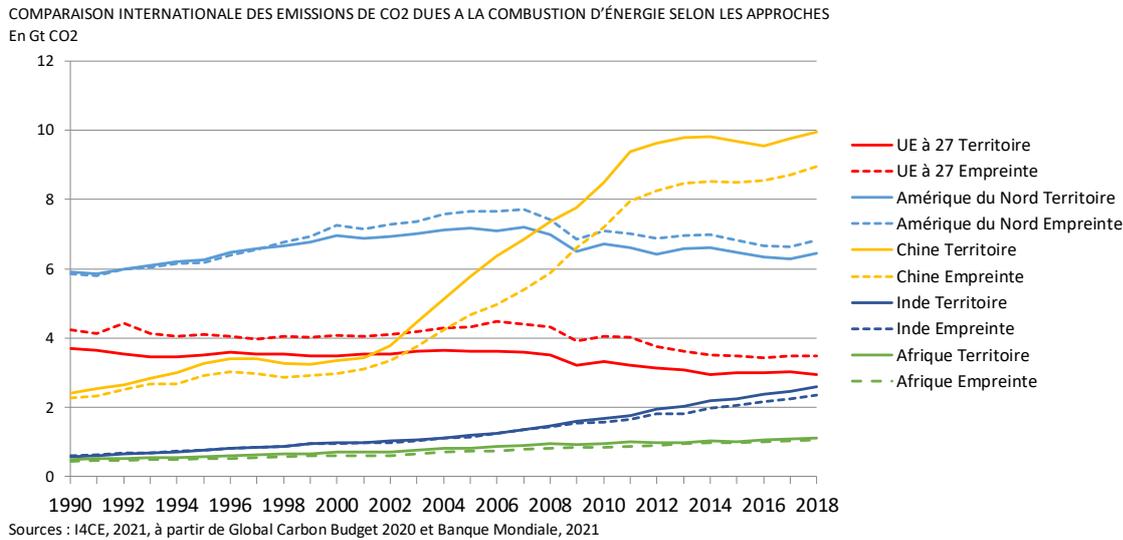
RÉPARTITION RÉGIONALE DES ÉMISSIONS DE GES PAR HABITANT EN 2018 HORS UTCATF

En t CO₂ éq / habitant



Note : Sont inclus les émissions des trois principaux GES (N₂O, CH₄ et CO₂) hors UTCATF.
Les pourcentages indiquent la proportion des émissions d'une région par rapport aux émissions mondiales.
Sources : IACE, à partir de JRC EDGAR et Banque mondiale, 2021

Annexe 3. Comparaison internationale des émissions de CO₂ dues à la combustion d'énergie selon les approches



Annexe 4. Spécifications et calcul de l'équilibre

a-Principes

On considère : d'une part, une demande linéaire de type $P_d(X) = A - bX$ avec (situation de référence) $A = P^0 - bX^0$; d'autre part, côté offre, des unités de production émettant 1tCO₂ en situation de référence (pollution non régulée), utilisant des technologies similaires caractérisées par leur courbe de coût marginal $m(x) = A' + b'x$ avec, de même, $A' = P^0 + b'$.

La distribution des (X_j^0) reflète comment les pays pèsent dans l'offre considérée. La production étant également répartie au sein des producteurs de chaque pays si l'équilibre est concurrentiel, la courbe d'offre de chaque pays vaut donc : $m_j(X_j) = P^0 + b'(X_j - X_j^0)/X_j^0$. Posant :

$$\begin{cases} \lambda = 1/(b' + bX^0) \\ \rho = bX^0/(b' + bX^0) \end{cases}$$

le système (1) s'en déduit.

b-Dérivation des conditions d'équilibre (3)

L'offre des pays est telle que : $\forall j, P = P^0 + ((1 - \rho)/\lambda)(X_j - X_j^0)/X_j^0 + u_j$

Sommant les n équations correspondantes, pondérées par leurs poids (X_j^0/X^0) , l'offre totale vérifie $P = P^0 + ((1 - \rho)/\lambda)(X_j - X_j^0)/X_j^0 + u = P_d(X)$. L'équilibre O-D est ainsi caractérisé par :

$$-(\rho/\lambda)(X_j - X_j^0)/X_j^0 = ((1 - \rho)/\lambda)(X_j - X_j^0)/X_j^0 + u$$

d'où $X = X^0(1 - \lambda u)$ et, comme $P = P_d(X)$, $P = P^0 + \rho u$.

Annexe 5. Coûts d'abattements

Le coût d'abattement total C est égal à la somme du coût du renoncement à la consommation du bien, nette des réductions de coût de production ainsi permises. A cela, il faut ajouter les surcoûts unitaires sur les productions résiduelles pour les rendre moins polluantes. On a donc :

$$C = \left(\frac{1}{2}\right)(P^0 + P)(X^0 - X) - \sum_j \left(\frac{1}{2}\right)(P^0 + m_j(X_j))(X_j^0 - X_j) + \sum_j \delta_j X_j$$

Sachant que : $m_j(X_j) = P - u_j = P - u + (u - u_j)$ et $X_j^0 - X_j = (\lambda/(1 - \rho))X_j^0 (u_j - \rho u)$
Il vient $C = H + A + I$ avec :

$$\begin{cases} H = \lambda u^2 X^0 / 2 \\ A = \sum_j \delta_j X_j \\ I = (\lambda/2(1 - \rho)) \sum_j X_j^0 (u - u_j)^2 \end{cases}$$

Annexe 6. Tarification du carbone optimale

Compte-tenu que $u_j = \tilde{\delta}(q_j) + (q_j + t_j)\tilde{e}(q_j) = \tilde{c}(q_j) + t_j\tilde{e}(q_j)$, on peut raisonner comme si les variables de contrôle étaient (q_j, u_j) , les (t_j) s'en déduisant. On maximise donc :

$$\text{Max } V^\gamma((q_j), (u_j)) = \gamma \left(E^0 - \sum_j \tilde{e}(q_j) X_j \right) - C$$

avec $C = \lambda u^2 X^0 / 2 + \sum_j \delta_j X_j + \left(\frac{1}{2}\right)(\lambda/(1 - \rho)) \sum_j X_j^0 (u - u_j)^2$ et (X_j) définis par (3), fonctions seulement des (u_j) .

Les conditions nécessaires d'optimalité par rapport aux variables q_j s'écrivent simplement :

$$\forall k, \quad \gamma \tilde{e}'(q_k) X_k = -\tilde{\delta}'(q_k) X_k$$

d'où : $\forall k, q_k = \gamma$

Notant $e = \tilde{e}(\gamma)$ et $\delta = \tilde{\delta}(\gamma)$, V^γ se réécrit :

$$V^\gamma((u_j)) = \gamma(E^0 - eX) - \frac{\lambda u^2 X^0}{2} - \delta X - \left(\frac{1}{2}\right)(\lambda/(1 - \rho)) \sum_j X_j^0 (u - u_j)^2$$

On a par ailleurs : $\partial u / \partial u_j = X_j^0 / X^0$ et $\frac{dX}{du} = -\lambda X^0$

Les conditions nécessaires par rapport aux variables u_j s'écrivent alors :

$$\forall k, \left(\frac{1}{1-\rho} \right) (u - u_k) = u - (\delta + e\gamma)$$

d'où $u = \delta + \gamma e$ et $\forall k, u_k = u \Rightarrow t_k = 0$, soit la tarification pigouvienne au lieu des émissions.

Ces conditions sont suffisantes car $q = \gamma$ minimise $\gamma e + \delta$ et que les conditions usuelles de convexité sont satisfaites pour le problème en (u_j) , à (q_j) donnés : partant d'une allocation quelconque, on améliore donc V^γ en appliquant plutôt $\forall k, q_k = \gamma$, puis à nouveau avec $\forall k, t_k = 0$.

Annexe 7. Répartition de l'effort et de la charge fiscale entre les pays

$$S^f = -\rho u \frac{(X + X^0)}{2} + R^f = -\rho u \frac{(X^0 - X)}{2} - \rho u X + R^f = -\rho \lambda X^0 u^2 / 2 - \rho u X + R^f$$

$$\text{Comme } uX - \sum_j u_j X_j = \sum_j (u - u_j)(X_j - X_j^0) = \sum_j (\lambda / (1 - \rho)) X_j^0 (u - u_j)(\rho u - u_j)$$

et $\rho u - u_j = -(1 - \rho)u + (u - u_j)$, on a :

$$uX = \sum_j u_j X_j + \sum_j \left(\frac{\lambda}{1-\rho} \right) X_j^0 (u - u_j)^2 = \sum_j u_j X_j + 2I$$

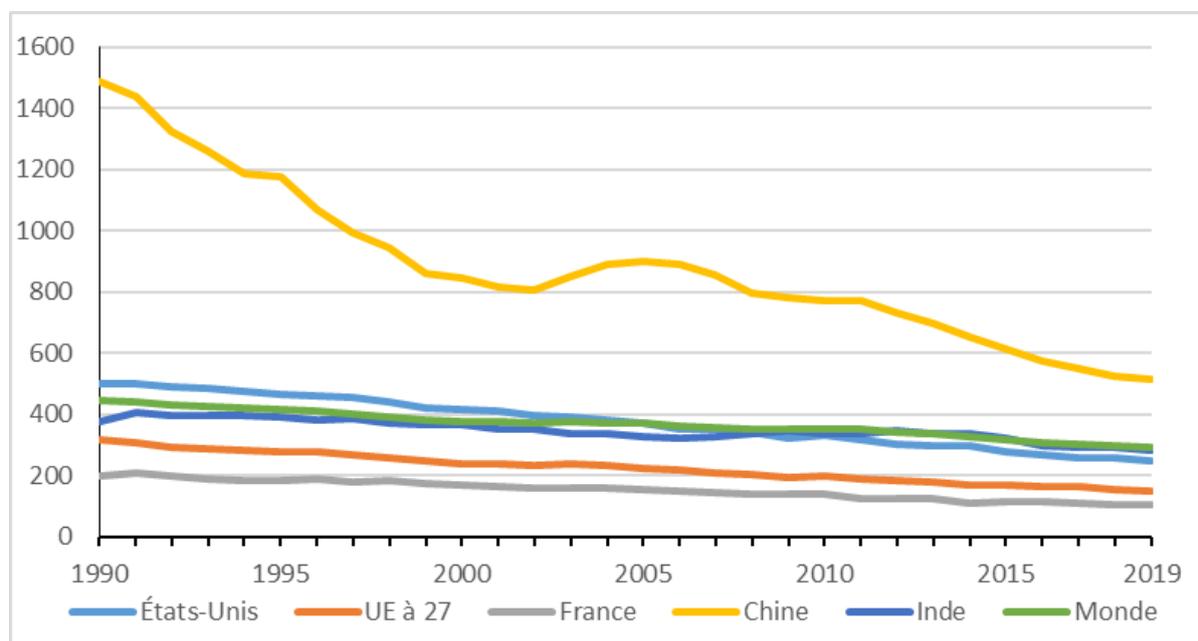
$$\text{Par ailleurs, par définition de } u_j : \sum_j u_j X_j = \sum_j (\delta_j + e_j(q_j + t_j)) X_j = A + R^t + R^f$$

$$\text{d'où : } S^f = -\rho(H + A + I) - \rho I - \rho R^t + (1 - \rho)R^f$$

$$\text{De même, on montre que : } S^t = \sum_j S_j^t = -(1 - \rho)(H + A + I) + \rho I + \rho R^t - (1 - \rho)R^f$$

$$\text{donc } C = -(S^f + S^t) = H + A + I$$

Annexe 8. Convergence des émissions de CO₂ rapportées au PIB



Sources : SDES, d'après EDGAR, 2020 ; Banque mondiale 2021 (En t CO₂ / million de \$ 2017 PPA)