

LES INCIDENCES ÉCONOMIQUES DE L'ACTION POUR LE CLIMAT

Compétitivité

Rapport thématique

Lionel Fontagné (coord.)

RAPPORT

MAI
2023



LES INCIDENCES ÉCONOMIQUES DE L'ACTION POUR LE CLIMAT

Compétitivité

Rapport thématique

Coordinateur

Lionel Fontagné (Banque de France)

Antoine Bouët, Erica Perego, Vincent Vicard (CEPII),
Mathieu Fouquet, Alexandre Godzinski (CGDD), Frédéric Gherzi (Cired),
Sébastien Jean (CNAM), William L'Heudé (Direction générale du Trésor),
Vincent Aussilloux, Romain Schweizer (France Stratégie),
Christophe Gouel (INRAE et CEPII), Paul Malliet (OFCE),
François Langot (université du Mans et CEPREMAP),
Aude Pommeret (université Savoie Mont-Blanc et France Stratégie),
Fabien Tripier (université Paris-Dauphine et CEPREMAP)

MAI 2023

Présentation

Par une lettre du 12 septembre 2022, la Première ministre a confié à Jean Pisani-Ferry une mission d'évaluation des impacts macroéconomiques de la transition climatique, afin que ces incidences soient mieux prises en compte par les décideurs dans l'ensemble des politiques publiques. Selma Mahfouz, inspectrice générale des finances, est la rapporteure générale de la mission. Le secrétariat est assuré par France Stratégie.

Une première note de cadrage est parue en novembre 2022 sous le titre « [L'action climatique : un enjeu macroéconomique](#) » (Note d'analyse, n° 114, France Stratégie).

Remis à la Première ministre en mai 2023, le rapport final intitulé [Les incidences économiques de l'action pour le climat](#) présente la synthèse des travaux de la mission.

Ces travaux ont également donné lieu à la publication de onze rapports thématiques, rédigés par des équipes issues de différentes institutions. L'ensemble de ces documents sont disponibles sur le site de France Stratégie :

- [Bien-être](#), coordonné par Didier Blanchet,
- [Compétitivité](#), coordonné par Lionel Fontagné,
- [Dommages et adaptation](#), coordonné par Xavier Timbeau,
- [Enjeux distributifs](#), coordonné par Vincent Marcus,
- [Indicateurs et données](#), coordonné par Nicolas Carnot et Nicolas Riedinger,
- [Inflation](#), coordonné par Stéphane Dees,
- [Marché du capital](#), coordonné par Pierre-Louis Girard,
- [Marché du travail](#), coordonné par Carole Hentzgen et Michaël Orand,
- [Modélisation](#), coordonné par Jérôme Trinh,
- [Productivité](#), coordonné par Anne Epaulard,
- [Sobriété](#), coordonné par Aude Pommeret.

Ce rapport thématique consacré à la compétitivité internationale était placé sous la direction de Lionel Fontagné (Banque de France), en collaboration avec Antoine Bouët, Erica Perego, Vincent Vicard (CEPII), Mathieu Fouquet, Alexandre Godzinski (CGDD), Frédéric Gherzi (Cired), Sébastien Jean (CNAM), William L'Heudé (Direction générale du Trésor), Vincent Aussilloux, Romain Schweizer (France Stratégie), Christophe Gouel (INRAE et CEPII), Paul Malliet (OFCE), François Langot (université du Mans et CEPREMAP), Aude Pommeret (université Savoie Mont-Blanc et France Stratégie), Fabien Tripier (université Paris-Dauphine et CEPREMAP).

Les auteurs souhaitent remercier Jean Pisani-Ferry, Selma Mahfouz, Laura Berthet, Olivier Garnier et Xavier Ragot pour leurs suggestions.

Ce document ne reflète pas nécessairement l'opinion de la Banque de France ou de l'Eurosystème.



SOMMAIRE

Synthèse	5
Introduction	9
Chapitre 1 – Des politiques climatiques hétérogènes	11
1. Un cadre d'action non contraignant	11
2. Capitaliser sur la multiplicité des initiatives	14
3. Cibler les secteurs fortement émissifs	16
4. Développer une métrique de l'effort	16
4.1. Les prix implicites de l'OCDE	18
4.2. Les équivalents prix du carbone du FMI	19
4.3. Les autres solutions possibles	20
Chapitre 2 – Des différences de politiques entraînant des distorsions de concurrence	21
1. Atteindre les contributions déterminées au niveau national (NDCs) avec des subventions et crédits d'impôt	22
2. Quel impact des distorsions de concurrence ?	23
3. La réponse européenne à l'Inflation Reduction Act	26
Chapitre 3 – Des différences internationales de prix du carbone qui génèrent des fuites pourtant partiellement évitables	29
1. Des secteurs hétérogènes en termes d'exposition aux fuites de carbone	30
2. Les instruments réduisant les fuites existent	34
2.1. Le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières	35
2.2. Les approches complémentaires	39

Chapitre 4 – Ce que les modèles (ne) disent (pas)	41
1. Quelques résultats	42
2. Comment interpréter les modèles	50
2.1. Scénario et choc	51
2.2. Allocations gratuites	53
2.3. Protection à la frontière vs subvention à la production	54
2.4. Réaction des exportateurs	54
2.5. Agrégation géographique	55
Chapitre 5 – La question de l'accès aux ressources	57
1. Les ressources financières	57
2. Les ressources naturelles	61
Conclusion	65
Bibliographie	67



SYNTHÈSE

Les conséquences économiques et environnementales des politiques françaises de transition énergétique doivent s'envisager dans le cadre d'une économie ouverte. Tout d'abord, le rythme des efforts et les modalités de la décarbonation de l'activité économique sont en partie dictés au niveau européen, comme dans le cas du marché de quotas d'émission pour les industries hautement émissives. Mais surtout, l'Accord de Paris inscrit l'effort français au sein d'une variété d'engagements nationaux de décarbonation, tant en termes d'ambition que d'instruments mis en œuvre pour y parvenir. Cette diversité des efforts et instruments au niveau international contribue à déterminer les effets économiques des choix faits en matière de politiques climatiques adoptées au niveau européen et français. Ce rapport propose un tour d'horizon synthétique de cette dimension internationale des politiques de transition énergétique.

En dépit d'éléments communs, notamment leur objectif final de réduction de l'empreinte carbone de l'activité économique, les politiques climatiques des différents pays sont hétérogènes, qu'il s'agisse de leur ambition – à savoir le niveau de leurs engagements en termes de décarbonation – ou des politiques (prix, réglementations, subventions ou crédits d'impôt) mises en œuvre. Il est dès lors illusoire de tenter de réduire les effets de cette hétérogénéité à une métrique commune de l'effort de chaque pays, comme le serait un équivalent prix des mesures réglementaires ou incitatives en place dans les différents pays.

Une autre conséquence directe de cette diversité est l'existence au niveau international de distorsions de concurrence, ou de fortes différences de prix du carbone entraînant des fuites de carbone.

Dans l'hypothèse où les politiques nationales viseraient le même objectif de réduction des émissions, mais en faisant appel à des instruments différents, il y aurait des distorsions de concurrence. L'exemple de l'Inflation Reduction Act (IRA), et en particulier des conditions restrictives d'attribution de subventions ou crédits d'impôt, illustre les conséquences d'une ambition désormais partagée des deux côtés de l'Atlantique, tandis que les politiques engagées sont profondément divergentes. Ces distorsions de concurrence, s'agissant de subventions, relèvent des instruments de défense commerciale prévus par les disciplines

multilatérales. Il est probablement plus efficace d'avancer dans le cadre d'un dialogue transatlantique et de mobiliser les instruments européens permettant de soutenir les industries vertes. Même si, dans un environnement fiscal contraint, il semble plus légitime d'utiliser l'argent public pour réaliser les investissements publics nécessaires à la transition énergétique. Mais la pratique de subventions dans d'autres zones, notamment aux États-Unis avec l'IRA, devrait conduire à considérer les subventions dans la palette des outils utiles à la transition énergétique en Europe, au-delà de l'horizon 2025 du dispositif actuel.

Dans l'hypothèse où les politiques nationales feraient appel aux mêmes instruments (en particulier à un prix du carbone, qui pourrait cependant différer), il y aurait une réallocation de la production des industries fortement émissives vers les régions moins-disantes. Les émissions seraient dès lors simplement déplacées des pays les plus ambitieux vers les moins ambitieux : il y aurait « fuite de carbone », et ces fuites sont désormais estimées potentiellement conséquentes en raison de l'ambition annoncée dans les nouveaux engagements européens. Le moindre effort de décarbonation d'un pays, s'apparentant lui aussi à une subvention, est inattaquable dans le cadre des règles multilatérales du commerce et l'on doit s'appuyer sur des instruments capitalisant sur les possibles exceptions environnementales aux règles du commerce international. L'instrument sur lequel les Européens se sont entendus, à savoir le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF), a pour objet la réduction des fuites de carbone tout en permettant d'accroître l'ambition en termes de décarbonation des industries fortement émissives. En se substituant au système actuel d'allocation gratuite de quotas d'émission aux secteurs écono-intensifs exposés à la concurrence internationale, le MACF est susceptible de réduire de 40 % les fuites par rapport à ces allocations gratuites.

Le MACF est toutefois par nature un instrument imparfait, parce qu'il ne corrige que les différences de prix du carbone dans certains secteurs très écono-intensifs et ne porte que sur les importations. Il ne répond pas au problème de compétitivité des secteurs écono-intensifs sur leurs marchés d'exportation en dehors de l'Union européenne, et il augmente le coût des consommations intermédiaires issues de ces mêmes secteurs écono-intensifs pour les industries situées en aval des chaînes de valeur. Au final, le MACF est bien la condition permissive de l'ambition européenne, mais au prix d'un coût économique passant par le canal de la compétitivité.

Informar les politiques économiques en quantifiant les mécanismes esquissés ici est délicat mais nécessaire. Il convient de disposer de modèles multinationaux, dans la mesure où les émissions et leur déplacement sont un problème global. Ces modèles doivent avoir une dimension sectorielle, dans la mesure où les émissions, ou encore les marchés du carbone, sont avant tout sectoriels. Enfin, s'agissant de politiques fixant des calendriers de décarbonation et s'inscrivant dans le cadre d'une économie mondiale en croissance, dont le centre de gravité se déplace vers l'Asie, ces modèles devraient idéalement avoir une dimension dynamique. Cette complexité impose de prendre des précautions quant à

l'interprétation des résultats obtenus, ce qu'illustre la comparaison de simulations réalisées avec les modèles ThreeME, Vulcain et Mirage. Par ailleurs, les modèles multisectoriels globaux ne laissent pas de place à la question de l'accompagnement par la politique budgétaire ou la politique monétaire de la transition énergétique ayant potentiellement des effets redistributifs et des effets inflationnistes, dimensions qui doivent être naturellement prises en compte par la politique économique.

Au-delà des questions de distorsions de concurrence, de fuites de carbone et de compétitivité, un enjeu important de la sortie des énergies fossiles convoquant la dimension internationale des politiques économiques est l'accès aux ressources, les métaux se substituant d'une certaine façon au pétrole. Comme les énergies fossiles lors de la révolution industrielle précédente, les matières premières nécessaires pour la transition énergétique sont concentrées dans quelques régions du monde. La déglobalisation n'est donc pas envisageable, et l'accès aux ressources pose des problèmes géopolitiques nouveaux.

Distorsions internationales de concurrence, fuites de carbone et accès aux ressources rendent d'autant plus nécessaire une coordination internationale des politiques climatiques pour favoriser une transition « ordonnée » de nos économies et limiter les coûts liés à ces fragmentations et tensions.



INTRODUCTION

Les efforts de décarbonation de l'économie française ne se font pas dans une économie fermée. D'une part, le rythme de ces efforts, ainsi qu'un certain nombre de modalités – comme le marché de quotas d'émission pour les industries hautement émissives –, sont déterminés au niveau européen. D'autre part, le cadre général de l'action climatique, à savoir les décisions prises dans le cadre de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques et en particulier l'Accord de Paris, inscrit l'effort français au sein d'une variété d'engagements nationaux de décarbonation, tant en termes d'ambition que d'instruments mis en œuvre pour y parvenir. Cette diversité des efforts et instruments au niveau international contribue à déterminer les effets économiques des politiques climatiques adoptées au niveau européen et français. Dès lors, prendre en compte les interactions entre politiques climatiques au niveau international est une nécessité s'imposant à la conception, l'évaluation et la modélisation de la macroéconomie du climat. Ce rapport propose un tour d'horizon synthétique de cette question aux multiples facettes.

Le Chapitre 1 montre qu'en dépit d'éléments communs, les politiques climatiques nationales sont hétérogènes, qu'il s'agisse de leur ambition – à savoir le niveau de leurs engagements en termes de décarbonation – ou des politiques (prix, réglementations, subventions) mises en œuvre. En raison des difficultés inhérentes à la comparaison des efforts au niveau international, il est illusoire de tenter de réduire les effets de cette hétérogénéité à une métrique commune de l'effort de chaque pays, qui serait un équivalent prix¹ des mesures réglementaires ou incitatives mises en place pour décarboner l'économie. Une conséquence directe de cette diversité est l'existence de fortes différences de prix du carbone au niveau international, ou de distorsions de concurrence.

Dans l'hypothèse où les politiques nationales viseraient le même objectif de réduction des émissions, mais en faisant appel à des instruments différents, il y aurait des distorsions de concurrence. L'exemple de l'Inflation Reduction Act (IRA) évoqué dans le Chapitre 2 illustre les conséquences d'une ambition désormais partagée des deux côtés de l'Atlantique, tandis que les politiques engagées sont profondément divergentes.

¹ Il s'agit du prix du carbone qui permettrait d'atteindre le même résultat en termes de réduction des émissions que la réglementation considérée.

Dans l'hypothèse où les politiques nationales feraient appel aux mêmes instruments (en particulier à un prix du carbone, qui cependant pourrait différer), il y aurait une réallocation de la production des industries fortement émissives vers les régions moins-disantes. Comme Stiglitz (2006) l'a rappelé il y a près de vingt ans déjà, les États taxant moins, ou pas, le carbone subventionnent *de facto* leurs industries fortement émissives¹. Les émissions seraient dès lors simplement déplacées des pays les plus ambitieux vers les moins ambitieux : il y aurait des « fuites de carbone » comme nous le montrons dans le Chapitre 3. Mais alors que les distorsions de concurrence, s'agissant de subventions, relèvent des instruments de défense commerciale prévus par les disciplines multilatérales, le moindre effort de décarbonation d'un pays, s'apparentant lui aussi à une subvention, est en réalité inattaquable dans le cadre des règles multilatérales du commerce. On doit alors s'appuyer sur des instruments permettant de limiter les fuites, en capitalisant sur les possibles exceptions environnementales aux règles du commerce international. Nous faisons une large place à l'instrument sur lequel les Européens se sont entendus, à savoir le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF). Si ce mécanisme a pour objet la réduction des fuites de carbone, il ne saurait les éliminer complètement, même s'il les réduit de 40 % par rapport au système actuel d'allocation gratuite de quotas d'émission aux secteurs écono-ergo-intensifs exposés à la concurrence internationale. Le MACF est par nature un instrument imparfait, parce qu'il ne corrige que les différences de prix du carbone dans certains secteurs très écono-ergo-intensifs et ne porte que sur les importations.

Apporter une réponse quantitative aux questions soulevées ici impose de disposer de modèles multinationaux, dans la mesure où les émissions et leur déplacement sont un problème global. Ces modèles doivent avoir une dimension sectorielle, étant donné que les émissions, ou encore les marchés du carbone, sont avant tout sectoriels. Enfin, s'agissant de politiques fixant des calendriers de décarbonation et s'inscrivant dans le cadre d'une économie mondiale en croissance – dont le centre de gravité se déplace vers l'Asie –, ces modèles devraient idéalement avoir une dimension dynamique. Nous examinons dans le Chapitre 4 ce que nous disent ces modèles, et aussi ce qu'ils ne nous disent pas. C'est en effet en insistant sur les précautions qu'impose l'interprétation de leurs résultats que l'on peut poser les jalons des programmes de recherche futurs.

Le Chapitre 5 s'intéresse à des sujets encore relativement orphelins dans la littérature : d'une part, la sortie des énergies fossiles va bouleverser les problématiques d'accès aux ressources au niveau international, les métaux se substituant au pétrole ; d'autre part, au cœur de la transition se trouveront les firmes multinationales.

¹ Il existe soixante-dix initiatives visant à imposer un prix du carbone sur les activités émettrices. Elles couvrent 23 % des émissions mondiales. Les prix oscillent entre 0,5 euro/tCO₂eq et 127 euros/tCO₂eq et sont inférieurs à 9 euros/tCO₂eq pour plus de 60 % des émissions couvertes ([Carbon Pricing Dashboard](#) de la Banque mondiale, dernière mise à jour en avril 2022).



CHAPITRE 1

DES POLITIQUES CLIMATIQUES HÉTÉROGÈNES

Le paradigme contemporain de la lutte contre le changement climatique s'appuie sur le principe de responsabilités différenciées des pays, sur les engagements nationaux fait à l'occasion des COP successives et sur la subsidiarité en matière de respect de ces engagements. L'Accord de Paris fixe les détails d'un montage posant le problème du caractère non coordonné et non contraignant des engagements (Nordhaus, 2020¹) : non coordonné car ce n'est pas un planificateur mondial qui fixe les niveaux d'effort en répartissant de façon optimale les réductions d'émissions requises par un objectif donné de limitation du réchauffement², et sujet à un problème d'action collective (Fontagné et Schubert, 2023³). Ce pessimisme doit toutefois être tempéré par l'existence d'autres mécanismes que ceux strictement liés aux engagements de Paris. Nous faisons le tour d'horizon de ces questions dans ce chapitre.

1. Un cadre d'action non contraignant

Après l'adoption de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques en 1992, la communauté internationale a passé plus de deux décennies à négocier des règles juridiquement contraignantes pour limiter les émissions de gaz à effet de serre (GES), cherchant ainsi à répliquer l'exemple réussi de l'amendement de Kigali à l'Accord de Montréal sur l'interdiction des hydrofluorocarbures (HFC), responsables de l'appauvrissement de la couche d'ozone.

¹ Nordhaus W. (2020), « The Climate Club: How to fix a failing global effort », *Foreign Affairs*, mai-juin.

² Les engagements déposés auprès du secrétariat de l'ONU pourraient entraîner un réchauffement de 2,4 °C par rapport au niveau préindustriel, même s'ils étaient tenus. On est donc loin de l'objectif de réchauffement annoncé par l'Accord de Paris.

³ Fontagné L. et Schubert K. (2023), « The economics of BCA: Rationale and impacts of compensating carbon at the border », *Annual Review of Economics*, à paraître.

Le premier traité s'inscrivant dans cette logique, le protocole de Kyoto de 1997 avait fixé des objectifs relativement modestes : il exigeait que les pays industrialisés (listés dans ce qui était appelé l'Annexe I) aient réduit leurs émissions de GES des années 2008 à 2012 de 5 % en moyenne par rapport au niveau de 1990, tout en exemptant les pays en développement (les pays dits hors-Annexe I). Ce protocole était ensuite censé évoluer et la conférence de Copenhague en 2009 devait déboucher sur un nouvel accord incluant les pays ne figurant pas dans l'Annexe I, dont certains (comme la Chine) avaient vu leurs émissions augmenter de façon significative entretemps.

Si les pays de l'Annexe I ont réussi à se conformer collectivement¹ aux dispositions du traité, cela n'a guère eu d'effet sur la dynamique mondiale de l'augmentation des émissions de GES. Aussi, la deuxième période d'engagement était censée rehausser l'ambition de réduction, mais au niveau mondial cette fois-ci. Cependant, l'accent mis sur le caractère juridiquement contraignant des engagements et la division rigide entre pays de l'Annexe I et pays en développement (qui jugeaient la limitation de leurs émissions futures comme une contrainte sur leur développement économique) ont fini par faire échouer la COP 15. La conférence de Copenhague n'a cependant pas été qu'un échec : elle a jeté les bases permettant de sortir de l'enlisement du conflit de répartition sur la charge de l'atténuation. Ceci a mené à l'Accord de Paris, en vertu duquel les pays signataires fixent leurs propres niveaux d'ambition en matière d'atténuation du changement climatique via la déclaration, auprès du secrétariat de l'ONU dédié, de contributions déterminées au niveau national (NDCs - Nationally Determined Contributions) réactualisées tous les cinq ans. L'Accord de Paris contient néanmoins des obligations. L'article 4.2 stipule ainsi que « Chaque Partie établit, communique et actualise les contributions déterminées au niveau national successives qu'elle prévoit de réaliser. Les Parties prennent des mesures internes pour l'atténuation en vue de réaliser les objectifs desdites contributions. »

Le processus *bottom-up* des NDC est en outre complété par un mécanisme *top-down* qui examine leur contenu, leur mise en œuvre et leur progression dans le temps selon un principe accusatoire mais non punitif. C'est l'esprit des articles 4.3 « La [NDC] suivante de chaque Partie représentera une progression par rapport à la [NDC] antérieure et 14 « La Conférence des Parties agissant comme réunion des Parties au présent Accord fait périodiquement le bilan de la mise en œuvre du présent Accord afin d'évaluer les progrès collectifs accomplis (...). La Conférence des Parties agissant comme réunion des Parties au présent Accord procède à son (...) bilan mondial (...) tous

¹ Certains pays n'ont pas réussi à réduire leurs émissions, comme le Canada, quand d'autres les ont réduites mais sans effort, comme la Russie ou d'autres pays de l'ex-bloc de l'Est qui ont connu une désindustrialisation massive au cours de la décennie 1990 suite à la disparition de l'URSS.

les cinq ans ». Concrètement, ce bilan prend la forme d'un rapport publié par le secrétariat de l'UNFCCC sous le titre *NDC Synthesis Report*¹.

Du fait du caractère volontaire de la soumission des NDCs, il n'existe cependant pas de cadre unifié dans leur expression² ou leur mode de calcul et les émissions de l'aviation et du transport maritime ne sont pas couvertes par ces engagements (Encadré 1). On peut néanmoins distinguer trois sous-groupes plus ou moins homogènes quant à la façon dont ces objectifs sont rédigés : i) les NDCs dont les objectifs sont exprimés par rapport à un scénario de référence – fictif – qui établit ce que serait le niveau d'émission à la date cible future selon un certain narratif, correspondant généralement à celui selon lequel aucune politique climatique n'aurait été entreprise (*business as usual*) ; ii) les NDCs dont les objectifs de réduction sont exprimés en pourcentage par rapport à une année de référence ; iii) les NDCs dont les objectifs sont exprimés en volume d'émission à une date cible. Les deux derniers cas représentent, *a priori*, les engagements les plus fermes. Toutefois, une dimension supplémentaire des engagements doit être mentionnée : il faut distinguer au sein des NDCs, en particulier pour les pays en développement, contributions inconditionnelles et conditionnelles. Les premières correspondent à ce que les pays s'engagent à mettre en œuvre sans aucune condition et en fonction de leurs propres ressources et capacités ; les secondes à ce qu'un pays pourrait entreprendre si des moyens de soutien international étaient obtenus ou d'autres conditions³ étaient remplies. Ces différentes dimensions vont jouer un rôle essentiel dans le travail de modélisation dont nous rendrons compte dans le Chapitre 4 de ce rapport.

Encadré 1 – Le cas particulier des émissions « apatrides »

Les émissions issues de l'aviation et du transport maritime international n'étant pas attribuables à des pays individuels, elles ne sont pas couvertes par les engagements nationaux pris dans le cadre de l'Accord de Paris. Elles sont en revanche respectivement gérées par l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) et l'Organisation maritime internationale (OMI), deux organismes des Nations unies.

¹ Voir UNFCCC (2022), [2022 NDC Synthesis Report](#), Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, octobre.

² Deux exemples : « En 2030, les émissions annuelles de GES de l'Afrique du Sud se situeront dans une fourchette de 350 à 420 Mt d'équivalent CO₂ » ; « Le Mexique porte son objectif de réduction des GES de 22 % à 35 % en 2030, par rapport à son niveau de référence, les ressources nationales contribuant pour au moins 30 % et 5 % avec la coopération et les financements internationaux prévus pour les énergies propres. (...) Sous condition, le Mexique peut porter son objectif à 40 % en 2030, par rapport à son niveau de référence, si le financement international, l'innovation et le transfert de technologies sont renforcés et si d'autres pays, principalement les grands émetteurs, font des efforts à la hauteur des objectifs plus ambitieux de l'Accord de Paris. »

³ Des aides financières et techniques majoritairement, mais également le niveau d'ambition collective ou certains termes des accords futurs (comme l'inclusion ou non de mécanismes de flexibilité dans la prise en compte des objectifs).

Le premier s'est fixé comme objectif de rendre les émissions nettes du secteur aérien nulles d'ici à 2050 tandis que le second s'est engagé à réduire les émissions du secteur de 40 % par rapport au niveau de 2008 d'ici à 2030. Certains pays ont qui plus est commencé à prendre des mesures visant spécifiquement ces deux secteurs.

Dans le domaine du commerce maritime international, le Royaume-Uni a ainsi inclus sa contribution aux émissions de GES dans son sixième budget carbone (2033-2037), qui vise à réduire ses émissions de 78 % par rapport à 1990. Au niveau européen, le paquet « Fit for 55 » intègre les émissions de CO₂ du secteur maritime dans le champ d'application du système d'échanges de quotas, impose progressivement aux armateurs de restituer ces quotas, élargit le principe aux autres GES émis dès 2026 et définit des normes d'utilisation de carburants renouvelables dans les navires. La révision du marché européen de quotas d'émission (SEQUE), actée par les colégislateurs européens en décembre 2022, prévoit ainsi l'inclusion progressive, à compter de 2024, des émissions maritimes internationales, couvrant la moitié des voyages extra-UE entrants et sortants, ainsi que l'ensemble des émissions des navires à quai et les voyages intra-UE.

Du côté de l'aviation internationale, pour laquelle l'Union européenne, les États-Unis, la Chine et le Royaume-Uni sont responsables à eux seuls du quart des émissions, certaines mesures ont également été prises. Les États-Unis se sont ainsi engagés à ce que les émissions nettes du secteur de l'aviation américaine (vols domestiques et vols effectués par des opérateurs américains entre deux pays de l'OACI) soient nulles en 2050. Le Royaume-Uni, de son côté, inclut les vols internationaux sortants à son sixième budget carbone. Au niveau européen, l'ambition du marché carbone qui couvre déjà les vols intra-UE a été renforcée avec une disparition totale des quotas gratuits d'ici 2026 ; ce marché pourrait également couvrir les émissions des vols internationaux au départ de l'UE à compter de 2027 si l'ambition de l'objectif fixé par l'OACI n'était pas respectée.

2. Capitaliser sur la multiplicité des initiatives

Au-delà d'avoir constitué un changement de paradigme, dont on a souligné les limites, la COP 21 a également été le catalyseur d'un large éventail d'initiatives visant à mieux coordonner les efforts, que ce soit entre États cherchant à approfondir leurs engagements de décarbonation ou entre acteurs cherchant à partager leurs pratiques.

Si beaucoup mériteraient d'être mentionnées, citons ici les cinq dernières d'envergure qui ont été lancées lors de la COP 26 à Glasgow :

- Global Methane Pledge : les signataires ont convenu de réduire les émissions dans tous les secteurs de 30 % au niveau mondial au cours de la prochaine décennie ;

- Global Coal to Clean Power Statement : initiative visant à abandonner l'énergie produite à partir du charbon d'ici les années 2030 ou 2040 et à cesser de construire de nouvelles centrales au charbon ;
- Accelerating to Zero Coalition : les signataires ont convenu que 100 % des nouvelles ventes de voitures et de véhicules utilitaires légers en 2040 devraient être des véhicules électriques, en 2035 pour les principaux marchés ;
- Glasgow Leaders' Declaration on Forests and Land Use : les signataires s'engagent à arrêter et à inverser la déforestation et la dégradation des terres d'ici à 2030 ;
- et Clydebank Declaration : les signataires s'engagent à soutenir la mise en place de routes maritimes à émissions nulles entre deux ports (ou plus), dites « corridors maritimes verts ».

Par ailleurs, un nombre croissant de pays se sont engagés à atteindre des objectifs de zéro émission nette. Début 2023, dix-sept pays et l'Union européenne avaient fixé un tel objectif dans un texte de loi et plus de cent pays ont déclaré vouloir atteindre un objectif net zéro¹. Dans la majorité des cas, les dates cibles sont 2050 (notamment pour l'UE et ses États membres ou les États-Unis), voire 2060 (pour la Russie) ou 2070 (pour l'Inde).

Enfin, l'article 2.1(c) de l'Accord de Paris stipule que les signataires s'engagent à rendre « les flux financiers compatibles avec un profil d'évolution vers un développement à faible émission de gaz à effet de serre et résilient aux changements climatiques ». Aussi, la politique climatique internationale s'appuie sur un certain nombre d'éléments d'architecture financière : Fonds spécial pour les changements climatiques, Fonds d'adaptation au changement climatique ou bien encore Fonds vert pour le climat.

La dernière proposition en date est l'initiative de Bridgetown, qui vise à mobiliser davantage de financements pour les pays présentant à la fois une grande vulnérabilité au changement climatique et une faible capacité à lever des fonds (à cause de marchés des capitaux nationaux peu profonds et de primes de risque élevées) pour y faire face. Sa mise en place nécessitera l'implication des institutions financières internationales (Banque mondiale et FMI notamment) et s'appuie en particulier sur :

- la création d'un fonds pour l'atténuation des effets du changement climatique (Climate Mitigation Trust) ;
- l'inclusion de clauses de suspension temporaire (compensée par des allongements de la durée des prêts) des annuités des dettes en cas d'événement climatique extrême ;
- l'élargissement des critères d'éligibilité aux prêts concessionnels pour les projets en lien avec le climat ne satisfaisant les seuils de rentabilité suffisants pour attirer les investisseurs privés ;

¹ Pour une recension de ces divers engagements, voir [Energy & Climate Intelligence Unit | Net Zero Scorecard \(eciu.net\)](https://eciu.net).

- l'augmentation des capacités de financement des banques multilatérales de développement en lien avec des projets en faveur du climat ;
- et la mobilisation de fonds dédiés à l'indemnisation des pertes et dommages.

3. Cibler les secteurs fortement émissifs

Ces multiples engagements internationaux « généralistes » se diffractent ensuite en une multitude d'engagements (nationaux, régionaux, au niveau des filières, etc.), souvent propres à des sous-secteurs industriels particuliers. Relativement aux règles du commerce international, et plus encore dans l'optique d'y faire entrer les considérations climatiques, cette hétérogénéité d'engagements n'est pas sans poser de redoutables défis. La filière de l'acier offre ainsi un exemple particulièrement illustratif des problèmes de coordination internationale que peut soulever la décarbonation d'un matériau de base largement échangé. Ces considérations sont transposables au cas du ciment¹, de l'aluminium et de la chimie, que nous évoquons plus bas. D'une manière générale, les mesures peuvent être divisées entre celles qui dépendent de la *hard law* (essentiellement sous la forme de subventions – certaines des mesures de l'IRA par exemple – ou de tarification du carbone – comme l'extension prochaine du système de quotas en Chine au ciment, à l'acier et l'aluminium) et celles relevant de la *soft law* (pour beaucoup sous la forme de feuille de route de décarbonation, rédigée par des instances étatiques ou les industriels eux-mêmes sous la forme d'objectifs ou de recommandations).

4. Développer une métrique de l'effort

Les réflexions autour d'une métrique permettant de comparer les efforts d'atténuation se sont développées dès les discussions de Lima en 2014, afin que soit évité le phénomène de « passager clandestin » sur les cibles environnementales. Une telle comparaison permet aussi d'accroître la crédibilité des engagements climatiques des pays (Aldy et Pizer, 2016²). Plus récemment, s'est posée la question d'évaluer les effets des différentes politiques sur les coûts des entreprises exposées au commerce, afin de comprendre si les importations en provenance de différents pays devraient avoir des charges d'ajustement carbone aux frontières plus faibles en reconnaissance des coûts imposés par ces politiques d'atténuation.

¹ À ce sujet, voir Criqui P. (2023), *Les coûts d'abattement. Partie 6 – Ciment*, rapport de la commission sur les coûts d'abattement, France Stratégie, mai.

² Aldy J. E. et Pizer W. A. (2016), « Alternative metrics for comparing domestic climate change mitigation efforts and the emerging international climate policy architecture », *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 10(1), hiver, p. 3-24.

Il existe de multiples approches pour tenter de comparer les efforts d'atténuation dans les différents pays ou régions du monde. La définition la plus restreinte est celle des prix du carbone *explicites*. Elle ne recouvre que les incitations marginales provenant d'une taxe carbone ou d'un système de permis échangeables (Dolphin *et al.*, 2020¹). Cette définition ne prend donc pas en compte l'ensemble des politiques de réduction des émissions, ce qui a suscité la recherche d'autres métriques.

L'OCDE a étendu la définition au prix du carbone *implicite*² (OCDE, 2013³ ; Marcantonini et Ellerman, 2013⁴) qui comprend alors toutes les politiques en faveur du développement de l'énergie bas carbone. Le périmètre diffère de celui que cette organisation a ensuite retenu.

Le FMI a proposé une méthode différente, fondée sur de la modélisation, pour obtenir un équivalent prix du carbone au niveau de l'économie (Black *et al.*, 2022⁵). Il s'agit du prix qui permettrait d'obtenir les mêmes réductions d'émissions que les politiques considérées (ECPE - *economywide carbon price equivalent*). Cette méthode peut être déclinée au niveau sectoriel (variante SCPE - *sectoral carbon price equivalent*).

Nous présentons ici les méthodologies et les résultats de ces deux approches en précisant leurs limites, liées notamment à la sous-optimalité des politiques d'atténuation ou au recours à la modélisation. Par ailleurs, une métrique d'équivalence ne peut, conceptuellement, traduire en un seul indicateur tous les impacts des mesures, à la fois en termes d'efforts, de coûts à la décarbonation et de coûts sur les émissions résiduelles⁶.

¹ Dolphin G., Pollitt M. G. et Newbery D. M. (2020), « The political economy of carbon pricing: A panel analysis », *Oxford Economic Papers*, vol. 72(2), avril, p. 472-500.

² Même si la dénomination est alors *effective carbon price*. Par la suite, l'OCDE réservera le terme « effectif » à la somme des taxes (y compris la taxe carbone) incitant à la réduction de la consommation d'énergie fossile (ECR pour *Effective Carbon Rates* – OCDE, 2018).

³ OCDE (2013), *Effective Carbon Prices*, Paris, Éditions de l'OCDE.

⁴ Marcantonini C. et Ellerman A. D. (2013), « [The cost of abating CO2 emissions by renewable energy incentives in Germany](#) », MIT CEEPR Working Paper 2013-05, février.

⁵ Black S., Minnett D. N., Parry I. W. H., Roaf J. et Zhunussova K. (2022), « [A framework for comparing climate mitigation policies across countries](#) », Fonds monétaire international, IMF Working Paper n° 2022/254, décembre.

⁶ Contrairement aux mesures réglementaires qui visent à contraindre les émissions au niveau d'un certain seuil, la tarification carbone s'applique sur l'ensemble des émissions observées à un instant donné. Le signal-prix crée ainsi une incitation à la décarbonation et donc à la réalisation d'investissements pour réduire ses émissions mais applique également un prix sur les émissions restantes, c'est-à-dire résiduelles.

Nous complétons ces méthodologies par trois autres propositions de métriques, le prix global du carbone¹ des incitations de chaque politique (Carhart *et al.*, 2022²), les coûts en part de la consommation ou du revenu national (Aldy et Pizer, 2016), et le coût d'un certain abattement des émissions tel que calculé par un modèle global (Chateau *et al.*, 2022³).

4.1. Les prix implicites de l'OCDE

Le calcul des prix implicites a été initié par l'Australian Productivity Commission (2011)⁴ et repris de façon plus globale par l'OCDE en 2013. L'objectif initial était d'évaluer l'efficacité-coût des politiques de réduction d'émissions. Cela fournit donc une indication des incitations à réduire les émissions à l'intérieur et entre les pays considérés⁵ et permet une évaluation des impacts en termes de compétitivité des politiques climatiques. La démarche adoptée pour mesurer les prix implicites consiste à calculer le coût d'abattement pour la société, c'est-à-dire le coût pour la société d'une tonne d'émission de CO₂ évitée. Cela revient – aux problèmes d'actualisation près⁶ – à s'intéresser au ratio coût de la politique sur réductions d'émissions. Ce calcul est réalisé en équilibre partiel sur la base des politiques climatiques déjà existantes en 2010 avec un contrefactuel correspondant à une situation fictive sans politiques⁷. Les revenus obtenus grâce à la politique ne sont pas pris en compte.

Cette approche pose d'abord le problème de la sous-optimalité des politiques, dans la mesure où les contraintes d'acceptabilité font souvent préférer des mesures inefficaces mais dont le financement est moins visible (par exemple subvention à l'achat d'un véhicule électrique plutôt que taxation des émissions des véhicules à moteur thermique)⁸. En se fondant sur un modèle d'équilibre général dynamique stylisé de choix optimal du mix électrique fossile et renouvelable, Schubert *et al.* (2023)⁹ mesurent ainsi l'écart entre la taxe optimale et les

¹ *Comprehensive carbon price.*

² Carhart M., Litterman B., Munnings C. et Vitali O. (2022), « [Measuring comprehensive carbon prices of national climate policies](#) », *Climate Policy*, vol. 22(2), janvier, p. 198-207.

³ Chateau J., Jaumotte F. et Schwerhoff G. (2022), « [Climate policy options: A comparison of economic performance](#) », IMF Working Paper n° 2022-242, décembre.

⁴ Australian Productivity Commission (2011), [Carbon Emission Policies in Key Economies](#), rapport de recherche, mai.

⁵ Afrique du Sud, Allemagne, Australie, Brésil, Chili, Chine, Corée, Danemark, Espagne, Estonie, États-Unis, France, Japon, Nouvelle-Zélande et Royaume-Uni.

⁶ Ce qui n'est pas un détail. Voir Cricqui P. (2021), [Les coûts d'abattement. Partie 1 – Méthodologie](#), rapport de la commission sur les coûts d'abattement, France Stratégie, juin.

⁷ Les valeurs utilisées pour les élasticités sont issues du rapport de l'Australian Productivity Commission (2011) ou de la littérature, avec une plage de valeurs pour tenir compte de l'incertitude.

⁸ D'autres exemples sont fournis par les subventions à l'isolation des bâtiments (OCDE, 2013), ou encore les tarifs de rachat de l'électricité produite de façon renouvelable en Allemagne (Marcantonini et Ellerman, 2013).

⁹ Schubert K., Pommeret A. et Ricci F. (2023), « [Confronting the carbon pricing gap: Second best climate policy](#) », Paris School of Economics, Working Paper n° 2023-13, avril.

politiques mises en place alternativement pour des raisons d'acceptabilité. Dans ce contexte, une taxe carbone maintenue constante et à un niveau acceptable socialement n'est pas suffisante pour garantir le respect du budget carbone (un plafond d'émissions de CO₂ cumulées dans le temps) et doit donc être complétée par une subvention. Le prix implicite de ces politiques est plus élevé que la taxe optimale, ce qui traduit leur sous-optimalité.

Cette approche soulève ensuite la difficulté d'avoir recours à un modèle en équilibre partiel pour déterminer les prix implicites. Chacune des politiques à évaluer est simulée de façon indépendante, le modèle ignorant certains effets potentiellement de premier ordre, notamment les cobénéfices. Il néglige aussi certains bénéfices futurs, notamment apportés par les effets d'apprentissage. Les réductions volontaires d'émission sont supposées inexistantes. Enfin et surtout, le modèle étant mobilisé de façon à convertir en prix implicite chaque politique séparément, il existe alors un risque de double-compte des réductions d'émissions en cas de chevauchement des politiques.

4.2. Les équivalents prix du carbone du FMI

Initialement proposés par McKibbin *et al.* (2011)¹ pour comparer entre les pays la rigueur des engagements pris lors des accords de Copenhague, les équivalents prix-carbone ont été repris par le FMI (Black *et al.*, 2022). Ils correspondent au niveau de taxe carbone qui conduirait à la même réduction d'émissions que la, ou les, politiques considérées. L'objectif est d'éviter l'écueil des doubles-comptes, même si les politiques se chevauchent et de considérer la sous-optimalité éventuelle des politiques. On retrouve cependant ce problème dès qu'on s'intéresse à la déclinaison sectorielle de cette métrique.

Un modèle technico-économique simulant toute l'économie est utilisé², ce qui évite de simuler les politiques de façon indépendante et empêche les doubles-comptages. Celui qui est utilisé est celui du FMI et de la Banque mondiale, le FMI-BM CPAT (Climate Policy Assessment Tool), pour calculer les réductions d'émissions. Il s'agit d'une forme réduite avec des projections de PIB, d'émissions, et une paramétrisation des comportements. Les caractéristiques techniques des secteurs les plus importants (génération d'électricité, transport, logement) sont considérées pour représenter finement les chroniques passées. Est pris en compte le remplacement des véhicules (avec une durée de vie de 15 ans) et des bâtiments (avec des durées de vie de 55 ans pour les bâtiments commerciaux et de 85 ans pour les bâtiments résidentiels).

¹ McKibbin W. J., Morris A. C. et Wilcoxon P. J. (2011), « Comparing climate commitments: a model-based analysis of the Copenhagen Accord », *Climate Change Economics*, vol. 2(2), p. 79-103.

² Sauf dans le cas de la déclinaison sectorielle.

Cette approche en cours de développement présente néanmoins des faiblesses : les technologies de rupture (la capture et séquestration du carbone, par exemple) ne sont pas prises en compte, le choix du contrefactuel est discutable¹. Mais surtout, il est supposé que les pays mettent effectivement en place les politiques nécessaires pour respecter les cibles annoncées pour chacun des secteurs. Dans ces conditions, cette métrique n'est pas opérationnelle pour calculer une exemption du mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF).

4.3. Les autres solutions possibles

Le prix global du carbone (Carhart *et al.*, 2022) définit un critère d'inclusion des politiques beaucoup plus strict que celui retenu dans le calcul des options présentées ci-dessus. Est retenue toute politique qui fournit une incitation marginale à réduire les émissions et comporte un élément de prix. Elle doit donc soit être directement un prix, soit être un instrument de marché échangeable, donc associable à un prix². Le message de politique économique important, conforme au principe de subsidiarité retenu dans l'Accord de Paris, est que des mix de politiques différents aboutissent à un même prix global, ce qui suggère que les pays peuvent suivre des sentiers de décarbonation différents pour atteindre une même cible.

Le coût d'abattement en termes de part de la consommation ou du revenu national (Aldy et Pizer, 2016) s'appuie sur une modélisation sectorielle très fine (les sacs en plastique par exemple). Cette approche bute toutefois sur les écueils déjà mentionnés de non-prise en compte des cobénéfices, de chevauchement des politiques et du caractère potentiellement inefficace des politiques adoptées.

Chateau *et al.* (2022) utilisent un modèle d'équilibre général calculable dynamique (IMF-ENV) et calculent pour différents pays l'équivalent prix du carbone d'une réglementation exigeant une baisse de 20 points de pourcentage de la part des combustibles fossiles dans la production d'électricité. Les résultats dépendent du point de départ dans chaque pays et du coût marginal croissant de la réduction : l'équivalent prix varie de 1 à 5 entre la Chine et le Royaume-Uni, ce qui illustre la difficile comparaison des efforts réalisés par chaque pays.

¹ Le contrefactuel dépend de la croissance économique et de la population mais n'intègre pas les réductions d'émissions provenant de chocs exogènes (les préférences) ou de changements structurels (la servicisation des économies).

² À partir de cette méthodologie, sur vingt-cinq pays représentant 82 % des émissions mondiales en 2019, le prix du carbone est de 19 euros, beaucoup plus bas que toutes les estimations du coût social du carbone ou du prix permettant de respecter un budget carbone cohérent avec l'Accord de Paris. Il excède cependant 100 euros pour les Pays-Bas, la France et l'Espagne.



CHAPITRE 2

DES DIFFÉRENCES DE POLITIQUES ENTRAÎNANT DES DISTORSIONS DE CONCURRENCE

L'Union européenne et les États-Unis ont des approches différentes de la politique climatique, la préférence européenne pour les instruments de marché et les subventions s'opposant aux réglementations et crédits d'impôt. Leurs politiques sont également non coordonnées. Il y a des raisons à cela, comme la parenthèse de la politique climatique de l'administration américaine précédente ayant conforté l'UE dans son approche d'action unilatérale. Mais concentrons-nous sur l'essentiel : l'UE s'émeut du caractère protectionniste de certains volets de l'Inflation Reduction Act (IRA) concernant l'action climatique. Se posent plusieurs questions : celle des subventions, qui constituent une distorsion de la concurrence internationale ; celle des clauses de contenu local, contraires aux règles commerciales multilatérales ; et enfin la question de la localisation des firmes multinationales et donc de l'attractivité des territoires.

La réponse européenne à l'IRA ne passe pas principalement par le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF), mais par la négociation d'assouplissements des règles de contenu local et par la mise en place de subventions équivalentes. Les mesures de défense commerciale n'ont pas été activées à ce stade. Le volet subventions de la réponse à l'IRA a été annoncé en deux temps au mois de mars 2023 et inclut une extension du « Temporary Crisis and Transition Framework for State Aid measures »¹ et un ensemble d'actions relevant de l'accès aux matières premières critiques (le « Critical Raw Materials Act »²).

¹ Commission européenne (2023), « [State aid: Commission adopts Temporary Crisis and Transition Framework to further support transition towards net-zero economy](#) », communiqué de presse, 9 mars.

² Commission européenne (2023), « [Critical Raw Materials: ensuring secure and sustainable supply chains for EU's green and digital future](#) », communiqué de presse, 16 mars.

1. Atteindre les contributions déterminées au niveau national (NDCs) avec des subventions et crédits d'impôt

L'un des objectifs majeurs de l'IRA, adopté par le Congrès américain le 16 août 2022, est de promouvoir la production et l'utilisation d'énergies propres aux États-Unis afin de respecter l'engagement de trajectoire de décarbonation pris par les États-Unis dans le cadre de l'Accord de Paris. Une enveloppe annoncée de 0,17 % du PIB américain par an, soit 391 milliards de dollars sur dix ans, est affectée à cette fin. Il s'agit toutefois d'une enveloppe ouverte : la somme de 391 milliards de dollars est une estimation du Congressional Budget Office et les subventions du gouvernement fédéral pourraient au total différer plus ou moins largement de ce montant, voire le doubler.

Dans ces 391 milliards, les mesures en faveur du climat et de l'énergie comprennent entre autres :

- un crédit d'impôt de 7 500 dollars au profit des ménages pour l'achat d'un véhicule électrique neuf ;
- un crédit d'impôt au profit des ménages de 2 000 dollars pour l'achat d'une pompe à chaleur, poêle à biomasse... ;
- un crédit d'impôt pour la rénovation thermique d'une maison ;
- un crédit d'impôt à la production pouvant monter jusqu'à 15 dollars par MWh pour les entreprises produisant de l'électricité générée selon un processus décarboné ;
- un crédit d'impôt pour la production d'électricité nucléaire décarbonée de 15 dollars par MWh ;
- un crédit d'impôt pouvant monter jusqu'à 3 dollars par kilo pour la production d'hydrogène vert ;
- un crédit d'impôt pouvant monter jusqu'à 1,75 dollar par gallon pour la production de carburant renouvelable pour l'aviation ;
- une subvention des investissements dans les énergies renouvelables, à hauteur de 70 % de son montant ; etc.

Nombre de crédits d'impôt ou de subventions seront accordés sous une clause de « contenu local », donc un traitement fiscal favorisant des biens produits aux États-Unis par rapport aux mêmes biens produits à l'étranger. L'IRA a ainsi été critiquée car elle implique pour les Européens un risque de relocalisation des firmes multinationales à leur détriment.

2. Quel impact des distorsions de concurrence ?

Il est difficile de se faire une idée de l'impact de l'IRA à partir de décisions microéconomiques considérées de manière isolée. Il peut y avoir des effets d'aubaine, donc des localisations aux États-Unis qui se seraient faites même sans la loi. L'IRA peut aussi provoquer la décision d'un investisseur d'implanter une usine « verte » aux États-Unis alors que sans cette loi, cet investissement n'aurait eu lieu nulle part (effet de création), ou alors que sans elle, l'investissement aurait eu lieu autre part (effet de détournement). Il est enfin possible que des déclarations d'entrepreneurs aient pour objet d'inciter les autorités européennes à réagir (effet d'économie politique). Que disent les études économiques ?

Les clauses de contenu local de l'IRA donnent un avantage fiscal assorti d'une contrainte pour les producteurs, celle de respecter des pourcentages de composants locaux dans la production d'un bien et/ou de localiser la production ou l'assemblage du bien aux États-Unis. Ces clauses compliquent la tâche des investisseurs car elles leur demandent, pour bénéficier d'une fiscalité favorable, de modifier la structure de leurs biens d'équipement et biens intermédiaires afin de respecter les critères techniques attachés. Une clause de contenu local ne peut jouer que dans le sens d'une hausse des coûts de production, sans quoi l'investisseur aurait adopté ce processus. À ce stade, trois remarques peuvent être formulées :

- les critères inclus dans la loi sont contraignants¹ ;
- comme la loi prévoit une augmentation des pourcentages-seuils de contenu local, il sera de plus en plus difficile pour les entrepreneurs de respecter ces critères² et on peut en attendre une augmentation des prix et de moins en moins d'implantations de site de production ;
- la loi interdit l'utilisation d'un *input* venant de Chine, d'Iran, de Russie et de Corée du Nord, alors que certains de ces pays sont des fournisseurs importants en matière de lithium, cobalt, graphite, cathodes et anodes (Chine) et nickel (Russie).

¹ L'US Treasury Department a établi en août 2022 que seulement 20 % des véhicules produits aux États-Unis en 2022 et 2023 respectent tous les critères pour être éligibles au crédit d'impôt de 7 500 dollars. Voir Nakano J. (2022), *IRA and the EV Tax Credits. Can We Kill Multiple Birds with One Stone?*, Center for Strategic and International Studies.

² Par exemple, pour bénéficier du crédit d'impôt de 7 500 US\$ pour l'achat d'un véhicule électrique neuf, la moitié de ce crédit est accordé si 50 % en 2023, 60 % en 2024, etc. 100 % en 2029 des composants rentrant dans la fabrication des batteries a été fabriqué ou assemblé au sein de l'USMCA (United States-Mexico-Canada Agreement).

Concernant les crédits d'impôt, la fiscalité peut jouer un rôle dans la localisation des activités de production¹, mais un certain nombre de facteurs affaiblissent la sensibilité des investissements directs à l'étranger (IDE) aux différentiels de taux d'imposition : possibilité de prix de transfert, fourniture de biens publics financés par les recettes publiques, régime d'imposition des profits rapatriés, etc.

Les déterminants de l'IDE sont multiples et l'Union européenne a des atouts pour attirer les activités de production : taille du marché unique, qualité des institutions, qualité des infrastructures, capital humain disponible. Ajoutons que les importations d'automobiles en Europe sont taxées par un droit de douane de 10 %, alors que les importations d'automobiles aux États-Unis sont taxées à hauteur de 2,5 %. Un droit de douane peut constituer une incitation à implanter une usine de production pour produire sur place plutôt qu'exporter et être pénalisé par le droit de douane : c'est l'argument du *tariff-jumping* qui est ici favorable à l'UE. Cet argument est affaibli par la taxation des *pick-up* à 25 % aux États-Unis.

Concernant les clauses de contenu local, une enquête qualitative conclut que, dans les industries de l'éolien et du solaire, les trois quarts des investisseurs trouvent qu'une clause de contenu local est une barrière à l'IDE, aussi bien en aval qu'en amont de la chaîne de valeur (OCDE, 2015²). Le même rapport montre que les *feed-in tariffs*³ sont la meilleure incitation pour les IDE dans les secteurs de l'éolien et du solaire, tandis que les clauses de contenu local sont une barrière non seulement à la décision d'investir (marge extensive) mais aussi et au montant de l'investissement (marge intensive).

Quel peut être l'effet d'une combinaison d'un crédit d'impôt et d'une clause de contenu local ? Head *et al.* (2023) étudient un problème proche : le problème des règles de contenu local incluses dans les accords de libre-échange pour bénéficier d'une exemption de droits de douane lors du passage aux frontières. À partir d'un modèle théorique où les entreprises doivent respecter, dans un accord commercial, des règles d'origine matérialisées par des clauses de contenu local pour pouvoir exporter vers un pays partenaire de l'accord, ils concluent à une « courbe de Laffer » : des obligations de contenu local de plus en plus contraignantes génèrent au départ un accroissement de la localisation des activités de production dans la zone, mais passé un certain niveau d'exigence, l'effet devient négatif.

¹ Voir par exemple Bénassy-Quéré *et al.* (2005).

² OCDE (2015), « Local content requirements in the solar- and wind-energy global value chains », in *Overcoming Barriers to International Investment in Clean Energy*, Paris, Éditions de l'OCDE, p. 47-87.

³ Ce sont des garanties de prix d'achat de l'électricité produite supérieurs à ceux du marché pendant une période donnée.

Lorsque le degré de finesse des données ne permet pas de calibrer un modèle comme dans Head *et al.* (2023), les modèles quantitatifs de commerce international ne peuvent pas prendre en compte la nationalité des entreprises ou les liens entre filiales mais uniquement le lieu de production. La prise en compte des spécificités des entreprises multinationales peut cependant permettre d'élargir, qualitativement, ce cadre d'analyse dans plusieurs dimensions.

Les entreprises multinationales peuvent détenir plusieurs dizaines, voire centaines de filiales à l'étranger pour les plus grandes d'entre elles. De telles structures, à cheval entre plusieurs pays, peuvent affecter leurs réactions à des politiques dans l'un de leur pays d'opération par rapport aux entreprises purement nationales, directement ou par l'intermédiaire de spécificités propres au groupe dans son ensemble et au-delà des filiales prises isolément.

Deux grands types d'IDE peuvent être distingués : les investissements verticaux, par lesquels une multinationale segmente son processus de production entre plusieurs pays, et les investissements directs horizontaux, par lesquels elle duplique sa production pour se rapprocher de ses consommateurs. Dans le second cas, la coexistence de plusieurs établissements similaires dans différents pays peut faciliter les arbitrages de production entre pays par rapport aux entreprises purement nationales en cas de changement des conditions locales, en réduisant les besoins et délais d'investissement. De telles facilités d'arbitrages auront tendance à amplifier les effets de l'introduction de contraintes environnementales. Plus largement, les firmes contraintes financièrement peuvent devoir arbitrer entre projets d'investissement, dans la mesure où les aides/normes environnementales influencent le classement des retours sur investissement dans différents lieux (Bartram *et al.*, 2022¹). À plus long terme, la gouvernance des entreprises peut déterminer leur réaction dans leur pays d'origine et à l'étranger. Ben-David *et al.* (2021)² montrent ainsi que les multinationales ayant une bonne gouvernance produisent moins d'émissions de CO₂ au niveau national lorsque leur pays d'origine fixe des politiques environnementales plus strictes et exportent moins d'émissions vers les pays étrangers. Une réglementation de décarbonation plus stricte se traduit par une baisse de la production et des émissions des multinationales dans le pays qui la met en œuvre et une hausse de leur production et de leurs émissions à l'étranger, le premier de ces deux effets l'emportant.

¹ Bartram S. M., Hou K. et Sehoon K. (2022), « [Real effects of climate policy: Financial constraints and spillovers](#) », *Journal of Financial Economics*, vol. 143(2), février, p. 668-696.

² Ben-David I., Jang Y., Kleimeier S. et Viehs M. (2021), « [Exporting pollution: where do multinational firms emit CO₂?](#) », *Economic Policy*, vol. 36(107), juillet, p. 377-437.

Par nature, les entreprises multinationales se caractérisent par des actifs immatériels partagés à l'intérieur de leur réseau de filiales, actifs qui peuvent être technologiques, organisationnels ou liés à une image de marque. En particulier, les investissements des multinationales favorisent les transferts de technologies à leurs filiales étrangères. En matière d'intensité émissive, des filiales étrangères d'entreprises multinationales originaires de pays ayant des normes contraignantes peuvent utiliser des technologies moins polluantes que leurs homologues locales (Eskeland et Harrison, 2003¹ ; Ben-David *et al.*, 2021 ; Garcia-Lembergman *et al.*, 2022²).

Enfin, dans leur rôle d'organisation des chaînes de valeur mondiales, les entreprises multinationales favorisent la dissociation géographique des activités. Dans ce cadre, des aides à la R & D dans le secteur vert peuvent favoriser l'innovation sur le territoire national sans pour autant engendrer d'activité de production associée, dans la mesure où une innovation peut être appliquée à la production à l'étranger, en particulier au sein du réseau de filiales des entreprises multinationales.

Ce sont finalement surtout les prix de l'énergie qui joueront un rôle en faveur des États-Unis. Il y a très peu d'études empiriques incluant les différentiels de prix de l'énergie comme déterminant de l'IDE. Saussay et Sato (2018)³ estiment la relation sur une base de données de 77 000 observations d'IDE par quarante-et-un pays entre 1995 et 2014 et concluent à un impact significatif : un accroissement de 10 % du différentiel du prix relatif de l'énergie conduit à une hausse de 3,2 % du nombre d'acquisitions dans le pays où le prix est plus avantageux. L'intensité de la relation varie d'un secteur à l'autre et est plus forte dans les secteurs énergivores.

3. La réponse européenne à l'**Inflation Reduction Act**

Le « Temporary Crisis and Transition Framework for State Aid measures » avait été adopté à la suite de l'invasion de l'Ukraine par la Russie pour aider les économies européennes pouvant être affectées par ce choc. La Commission européenne a autorisé un renouvellement de ce cadre temporaire laissant les États membres davantage libres de soutenir l'investissement privé, si cela permet de combler des déficits de capacités productives dans des secteurs stratégiques pour la transition vers une « économie nette-

¹ Eskeland G. S. et Harrison A. E. (2003), « [Moving to greener pastures? Multinationals and the pollution haven hypothesis](#) », *Journal of Development Economics*, Elsevier, vol. 70(1), février, p. 1-23.

² Garcia-Lembergman E., Ramondo N., Shapiro J. S. et Rodriguez-Clare A. (2022), « The Carbon Footprint of Multinational Production », *International Environmental Economics*, janvier.

³ Saussay A. et Sato M. (2018), « [The impacts of energy prices on industrial foreign investment location: Evidence from global firm level data](#) », Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, Working Paper n° 311, décembre.

zéro » (*net-zero economy*) : batteries, panneaux solaires, turbines d'éoliennes, pompes à chaleur, électrolyseurs, équipements pour la capture et le stockage du carbone. Quatre conditions sont attachées :

1. ce cadre est supposé limité dans le temps, avec des projets déposés avant le 31 décembre 2025 et des subventions pour une durée maximale de cinq ans ;
2. les montants autorisés sont plafonnés à 15 % des coûts éligibles et pour un montant maximum de 150 millions d'euros ;
3. la technologie que ces subventions financent doit relever de l'état de l'art ;
4. ces subventions doivent aider à empêcher des relocalisations de projets existants hors de l'Espace économique européen¹ et les États membres doivent vérifier que ces subventions n'impliquent pas de relocalisations à l'intérieur du marché unique.

Notons que l'IRA met en place des aides pour dix ans et non pour deux ans et demi ; or, la question de la prédictibilité des aides est, pour les investisseurs dans ces secteurs, une question importante. Le plafonnement à 15 % des coûts éligibles est inférieur aux plafonnements pratiqués dans l'IRA, plutôt de l'ordre de 30 % (par exemple, grâce à l'IRA, les producteurs d'électricité, à partir d'un processus décarboné, peuvent bénéficier de crédits d'impôt à l'investissement pouvant aller jusqu'à 30 % de la valeur de l'investissement). La condition selon laquelle la technologie subventionnée doit relever de l'état de l'art reflète la volonté de l'UE de favoriser les innovations alors que les États-Unis privilégient le déploiement de technologies existantes. Avec cette extension d'un dispositif temporaire, la Commission européenne renouvelle la possibilité pour les États membres de distribuer des aides à leurs industries visant à empêcher des relocalisations hors d'Europe. Mais ces aides sont plus faibles que les aides américaines et opèrent sur une période de temps plus courte. La décision concernant un emprunt européen finançant ces aides est remise à l'été 2023.

Le « Critical Raw Materials Act » est un ensemble d'actions visant à renforcer la résilience des chaînes d'approvisionnement des filières vertes européennes en minerais critiques (dont la liste a été actualisée et étendue à quelques matières premières stratégiques). L'objectif de cet ensemble de mesures est de doter en 2030 l'Union européenne de capacités correspondant à au moins 10 % de sa consommation annuelle

¹ L'Espace économique européen comprend les 27 États membres de l'UE plus l'Islande, le Liechtenstein et la Norvège.

de ces matières premières concernant l'extraction, 40 % pour la transformation, 15 % pour le recyclage. Les actions consistent en :

- la réduction des procédures administratives et l'accélération d'octroi de permis concernant des projets de matières premières critiques dans l'UE, projets qui pourraient bénéficier de financements privilégiés ;
- la mise en place d'un système de surveillance des approvisionnements de ces chaînes de valeur et de coordination de la gestion des stocks ;
- un appui à l'émergence et au déploiement de nouvelles technologies et la mise en place de partenariats pour la formation de main-d'œuvre qualifiée ;
- Et la diversification des importations européennes de matières premières critiques¹.

Enfin, la Commission européenne met en place des nouvelles procédures concernant les marchés publics dans les filières vertes : l'UE recommande de donner plus de poids aux critères de soutenabilité et de résilience des chaînes de valeur en privilégiant des solutions où l'offre est suffisamment diversifiée. Le critère retenu est d'éviter des situations où plus de 65 % des approvisionnements sont assurés par un pays non européen, les pays ayant signé l'accord plurilatéral sur les marchés publics ou un accord de libre-échange avec l'UE étant exclus de cette restriction.

¹ Il s'agit, d'une part, de contester auprès de l'Organisation mondiale du commerce les restrictions à l'exportation de ces matières premières critiques par certains pays (Chine, Indonésie) et, d'autre part, de mettre en place un groupe de pays concernés par ces approvisionnements critiques. Enfin, l'UE va chercher à asseoir des partenariats avec certains pays émergents ou en développement en mobilisant une aide européenne au développement économique soutenable en échange de la promotion d'un approvisionnement sécurisé et résilient. On s'attend enfin à ce que la négociation d'accords de libre-échange avec des pays comme l'Australie, l'Indonésie ou le MERCOSUR soit utilisée pour garantir l'accès à leurs exportations de matières premières critiques. Notons que le « Global Gateway » européen, initiative de financement des infrastructures à l'étranger (c'est le pendant européen des nouvelles Routes de la soie de la Chine) est aussi utilisé pour faciliter l'accès européen à des matières premières critiques.



CHAPITRE 3

DES DIFFÉRENCES INTERNATIONALES DE PRIX DU CARBONE QUI GÉNÈRENT DES FUITES POURTANT PARTIELLEMENT ÉVITABLES

En présence de différences internationales de prix du carbone (prix explicite) ou de politiques climatiques non tarifaires (prix implicite), une partie de la production des industries fortement émettrices des pays les plus ambitieux est réallouée vers des pays où la politique climatique est moins stricte, via des délocalisations ou des pertes de parts de marché de la production nationale sur le marché interne et celui des pays tiers, impliquant des fuites de carbone¹ : les émissions réduites par la mise en place d'une politique climatique plus ambitieuse sont en partie compensées par une augmentation des émissions dans des pays et régions moins-disants. Le fait que les techniques de production des pays moins contraints soient plus intensives en carbone ajoute également à cette fuite. Au final, l'effort de décarbonation des pays ambitieux est tout ou partie annulé par ces fuites dites « directes », ou relevant du « canal de la compétitivité ». À celles-ci s'ajoutent des fuites « indirectes », relevant du canal des marchés de l'énergie. En renonçant aux énergies fossiles, les pays ambitieux en réduisent la demande, ce qui va en diminuer le prix – et ceci d'autant plus que l'offre de fossiles sera inélastique² (Boeters et Bollen, 2012³ ; Burniaux et Oliveira Martins, 2012⁴). La baisse du prix des énergies fossiles est contraire à l'objectif poursuivi. Au global, les fuites de carbone portent

¹ Cela rejoint l'hypothèse du havre de pollution selon laquelle les activités polluantes se déplacent vers des pays où les réglementations environnementales sont faibles ou inexistantes (Levinson et Taylor, 2008).

² À l'extrême, si l'offre d'énergies fossiles était totalement inélastique, le prix devrait baisser jusqu'au point où la demande des pays non contraints remplacerait complètement celle des pays contraints.

³ Boeters S. et Bollen J. C. (2012), « Fossil fuel supply, leakage and the effectiveness of border measures in climate policy », *Energy Economics*, vol. 34, décembre, p. S181-S189.

⁴ Burniaux J.-M. et Oliveira Martins J. (2012), « Carbon leakages: A general equilibrium view », *Economic Theory*, vol. 49(2), p. 473-495.

atteinte à l'efficacité des politiques climatiques ambitieuses et contribuent à un partage sous-optimal de l'effort de réduction des émissions. Nous indiquons dans ce chapitre les secteurs concernés et nous donnons les ordres de grandeur de ces fuites, avant d'envisager les instruments permettant de les réduire.

1. Des secteurs hétérogènes en termes d'exposition aux fuites de carbone

Pour représenter l'exposition des secteurs à une tarification de leurs émissions de gaz à effet de serre (GES), on suit Sato *et al.* (2014)¹ en calculant pour un secteur donné un indice d'intensité carbone comme le produit des émissions de ce secteur par le prix de la tonne d'équivalent CO₂, rapporté à la valeur ajoutée brute du secteur. L'avantage de cette mesure est qu'elle permet d'illustrer à quel point une taxation des émissions de GES pourrait affecter la valeur ajoutée d'un secteur, mais son inconvénient est de dépendre d'un choix du prix du carbone. Cette dépendance étant linéaire, il est trivial d'extrapoler la mesure à d'autres prix².

Il existe une nomenclature pour classer les émissions d'une entreprise ou d'un secteur : les scopes 1, 2 et 3. Le scope 1 correspond aux émissions directes de GES dans le périmètre du secteur, qu'elles soient liées à la combustion d'énergies fossiles ou à d'autres sources d'émissions (le méthane produit par le bétail, par exemple). Le scope 2 correspond aux émissions indirectes liées à l'utilisation de l'énergie mais non incluses dans le scope 1 (les émissions liées au gaz naturel utilisé pour produire de l'électricité, par exemple). Enfin, le scope 3 inclut toutes les autres émissions indirectes. Le MACF européen concernera les émissions du scope 1, les autres scopes pouvant être inclus ultérieurement³.

Le graphique 1 représente par secteur la somme des émissions directes (scope 1) et des émissions indirectes en lien avec la production d'électricité (soit la majorité du scope 2), rapportée à la valeur ajoutée brute. La barre en bleu représente pour chaque secteur les émissions indirectes liées à l'utilisation de l'électricité, et le cumul des barres en bleu et gris les émissions totales (directes et indirectes). Les secteurs sont classés par ordre décroissant de leur intensité émissive ainsi définie. La hauteur de la barre rapporte les

¹ Sato M., Neuhoff K., Graichen V., Schumacher K. et Matthes F. (2014), « Sectors under scrutiny: Evaluation of indicators to assess the risk of carbon leakage in the UK and Germany », *Environmental and Resource Economics*, vol. 60(1), janvier, p. 99-124.

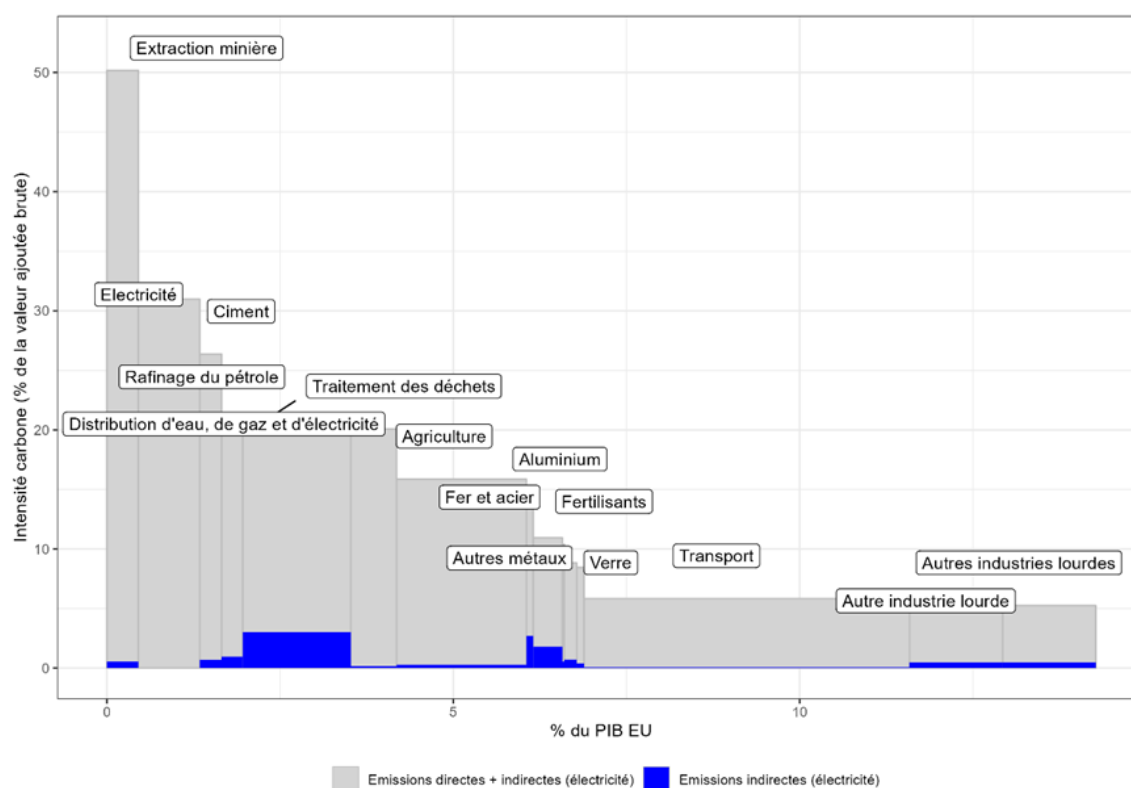
² Dans les mesures qui suivent, on adopte un prix moyen sur le marché européen de quotas d'émission (SEQUE) de 80 euros en 2022. Dans la suite, on exprime toujours le prix en euros de la tonne de CO₂ équivalent en termes de « prix du CO₂ » pour simplifier l'exposition. Les prix varient quotidiennement et ont atteint 100 euros en mars 2023.

³ Le MACF, dont les contours ont été finalisés le 18 décembre 2022, est détaillé dans le chapitre suivant.

émissions totales à la valeur ajoutée (par exemple 20 % pour la distribution d'eau, de gaz et d'électricité), et sa base le poids du secteur concerné dans le PIB de l'Union européenne, l'échelle horizontale donnant ainsi le cumul de la valeur ajoutée des secteurs concernés en part du PIB (resp. 4 % au total pour les cinq secteurs les plus émissifs, à savoir extraction minière, électricité, ciment, raffinage du pétrole, enfin distribution d'eau, de gaz et d'électricité). Au total les secteurs fortement émissifs représentent 14 % du PIB européen.

Afin d'illustrer l'effet du MACF sur les secteurs aval, le graphique 2 représente les émissions indirectes en lien avec la production d'électricité (qui sont couvertes par le SEQUE) et les émissions indirectes en lien avec les secteurs couverts par le MACF (soit une partie du scope 3), toujours rapportée à la valeur ajoutée brute. Dans les deux cas, la contribution des secteurs concernés au PIB européen est représentée sur l'axe horizontal du graphique 1. On voit par exemple que la construction, qui représente plus de 5 % du PIB européen, est affectée potentiellement indirectement au MACF (à hauteur de 1 % de la valeur ajoutée du secteur) en raison de l'utilisation de ciment en consommation intermédiaire, l'industrie du ciment relevant du SEQUE et du MACF.

**Graphique 1 – Exposition sectorielle directe et indirecte (via l'électricité)
à un prix du carbone, en 2022**

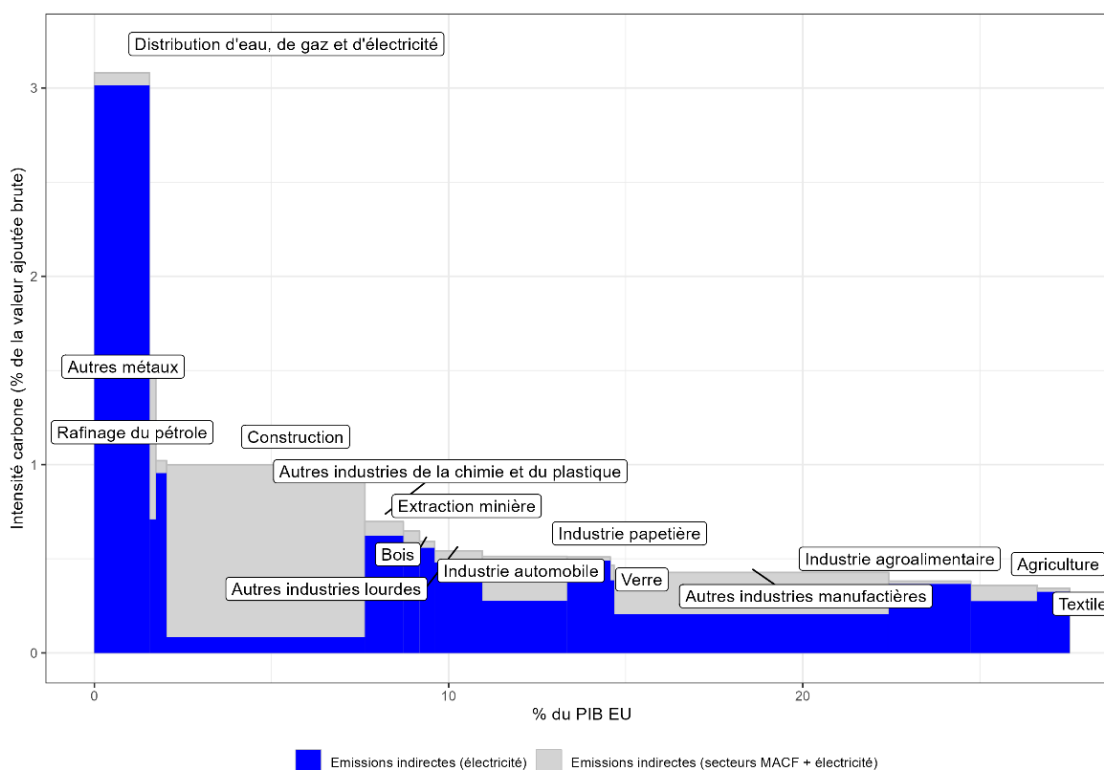


Note : cumul en pourcentage du PIB européen sur l'axe horizontal.

Source : Exiobase

On observe sur le graphique 1 que les émissions directes sont très concentrées sur l'amont des chaînes de valeur, la production d'électricité, de ciment, d'acier et d'aluminium. Le secteur agricole apparaît aussi comme fortement exposé à une taxation carbone, mais est souvent oublié dans ce débat du fait qu'il n'est pas aujourd'hui concerné par le SEQE. La valorisation de ces émissions au prix des quotas d'émission sur le marché SEQE peut représenter une part très importante de la valeur ajoutée des secteurs concernés, ce qui pose à l'évidence un problème de compétitivité pour les activités exposées (Graphique 1) ou pour les activités en aval de ces secteurs, elles-mêmes exposées (Graphique 2). Ainsi, les émissions indirectes liées à l'électricité utilisée dans les processus de production représentent un enjeu marginal dans la mesure où leur contribution reste faible si l'on s'intéresse aux relations amont, mais un enjeu important si l'on s'intéresse aux relations aval.

**Graphique 2 – Exposition sectorielle indirecte
(via l'électricité et les secteurs couverts par le MACF) à un prix du carbone, en 2022**



Source : Exiobase

L'estimation *ex post* des fuites de carbone se heurte à deux difficultés majeures (Fontagné et Schubert, 2023¹). D'une part, c'est le plus souvent l'impact de l'instauration d'un prix du carbone en termes de fuites directes (dites « canal de la compétitivité ») qui est examinée (ignorant dès lors les fuites indirectes liées au marché de l'énergie)². D'autre part, concernant plus spécifiquement l'UE, l'impact du SEQUE sur les fuites a été difficile à évaluer pour plusieurs raisons : le prix du carbone était relativement bas jusqu'à récemment³ ; le ralentissement économique suite à la crise des années 2008-2009 a entraîné une baisse de la production et des émissions afférentes des installations couvertes ; enfin, les quotas gratuits – dont les études mettent en évidence une surallocation dans les premières phases de fonctionnement – et subventions diverses ont jusqu'ici précisément évité largement les effets de compétitivité (Giec, 2015 ; Venmans *et al.*, 2020 ; Naegele et Zaklan, 2019 ; OCDE, 2020 ; Garnadt *et al.*, 2021⁴). Dès lors que l'on peut isoler précisément l'impact des variations du prix de l'énergie (et non du seul prix des quotas SEQUE) sur les secteurs industriels, les taux de fuite⁵ mesurés deviennent non négligeables, 25 % en moyenne sur 2005-2020 (15 % pour l'UE 15 et 31 % pour la France) selon Misch et Wingender (2021)⁶.

Les simulations *ex ante* renseignent sur l'impact de politiques climatiques ambitieuses. La recension de vingt-cinq études par Branger et Quirion (2014)⁷ fait état de taux de fuite de 5 % à 25 % avec une moyenne de 14 % – c'est-à-dire que pour 10 tonnes d'émissions de GES évitées dans le pays ou région qui adopte une politique climatique plus stricte, les émissions dans le reste du monde augmentent en moyenne de 1,4 tonne. La revue de la

¹ Fontagné L. et Schubert K. (2023), « The economics of BCA: Rationale and impacts of compensating carbon at the border », *Annual Review of Economics*, à paraître.

² Les fuites passant par le canal du marché de l'énergie sont liées à la baisse de la demande d'énergies fossiles dans le pays imposant un prix du carbone, laquelle induit, si ce pays est de grande taille économique, une baisse du prix mondial de ces énergies et donc une demande accrue dans le reste du monde.

³ Sous la barre des 10 €/tCO_{2e} entre 2011 et 2018.

⁴ Giec (2015), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, cinquième rapport, contribution du troisième groupe de travail ; Venmans F., Ellis J., et Nachtigall D. (2020), « Carbon pricing and competitiveness: are they at odds? », *Climate Policy*, vol. 20(9), p. 1070-1091 ; Naegele H. et Zaklan A. (2019), « Does the EU ETS cause carbon leakage in European manufacturing? », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 93, janvier, p. 125-147 ; OCDE (2020), *Climate Policy Leadership in an Interconnected World. What Role for Border Carbon Adjustments?*, Paris, Éditions de l'OCDE ; Garnadt N., Grimm V. et Reuter W. H. (2021), « Carbon adjustment mechanisms: Empirics, design and caveats », *SSRN Electronic Journal*, décembre.

⁵ Le taux de fuite rapporte l'augmentation des émissions dans le reste du monde à la baisse des émissions induite par la politique climatique d'un pays particulier.

⁶ Misch F. et Wingender P. (2021), « Revisiting carbon leakage », Fonds monétaire international, IMF Working Paper n° 2021/107, août.

⁷ Branger F. et Quirion P. (2014), « Would border carbon adjustments prevent carbon leakage and heavy industry competitiveness losses? Insights from a meta-analysis of recent economic studies », *Ecological Economics*, vol. 99, mars, p. 29-39.

littérature de Carbone et Rivers (2017)¹ couvrant cinquante-quatre études et deux cent quatre-vingt-onze estimations donne une fourchette de 10 % à 30 %. Selon une étude plus récente de Mörsdorf (2021)² sur l'UE, une augmentation du prix du carbone de 50 €/tCO_{2e} en UE aurait pour conséquence des fuites de carbone de l'ordre de 22 %. On atteint toutefois des taux de fuite élevés, au moins 50 %, pour le ciment ou l'acier (Quirion et Demailly, 2008 ; Mathiesen et Mæstad, 2004³), ou lorsque l'on modélise le fait que nombre de pays ne respectent pas leurs NDCs (Bellora et Fontagné, 2023⁴).

En réalité, les taux de fuite augmentent avec l'ambition des engagements de réduction des émissions et diminuent lorsque la participation des pays aux efforts d'atténuation se généralise (Böhringer *et al.*, 2014⁵). Se pose alors la question des instruments disponibles pour réduire ces fuites.

2. Les instruments réduisant les fuites existent

On peut réduire les fuites en différenciant le prix du carbone (Hoel, 1994) entre secteurs exposés à la concurrence internationale (l'acier, le ciment, etc.) et secteurs fortement émissifs mais non exposés (la production d'électricité). Il s'agit de la rationalité des allocations gratuites, ou des restitutions des quotas payants aux exportateurs, mais cela fait porter l'effort de décarbonation sur les secteurs ne bénéficiant pas d'allocations gratuites – à commencer par le secteur électrique – et donc réduit l'incitation à décarboner ailleurs. Revenir à un prix homogène du carbone est plus efficace en termes de décarbonation mais impose un ajustement carbone à la frontière (Droege, 2011⁶).

Au niveau européen, les secteurs du SEQUE considérés comme exposés à un risque de fuites de carbone (acier, ciment, aluminium, chimie, plastique, raffinage, verre, papier

¹ Carbone J. C. et Rivers N. (2017), « The impacts of unilateral climate policy on competitiveness: evidence from computable general equilibrium models », *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 11(1), janvier, p. 24-42.

² Mörsdorf G. (2021), « [A simple fix for carbon leakage? Assessing the environmental effectiveness of the EU carbon border adjustment](#) », IFO Working Papers, n° 350, IFO Institute-Leibniz Institute for Economic Research at the University of Munich, avril.

³ Quirion P. et Demailly D. (2008), « [Leakage from climate policies and border tax adjustment: lessons from a geographic model of the cement industry](#) », in Guesnerie R. et Tulkens H. (dir.), *The Design of Climate Policy*, The MIT Press, Cambridge, p. 333-358 ; Mathiesen L. et Mæstad O. (2004), « Climate policy and the steel industry: Achieving global emission reductions by an incomplete climate agreement », *The Energy Journal*, vol. 25(4), p. 91-114.

⁴ Bellora C. et Fontagné L. (2023), *EU in Search of a Carbon Border Adjustment Mechanism. Energy Economics*, à paraître.

⁵ Böhringer C., Fischer C. et Rosendahl K. E. (2014), « [Cost-effective unilateral climate policy design: Size matters](#) », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 67(3), mai, p. 318-339.

⁶ Droege S. (2011), « Using border measures to address carbon flows », *Climate Policy*, vol. 11(5), p. 1191-1201.

notamment)¹ représentent 94 % des émissions industrielles ou encore 35 % des émissions totales couvertes par le SEQUE (Cour des comptes européenne, 2020²). Ces secteurs se voient allouer 100 % de quotas gratuits sur la base de référentiels d'émissions correspondant aux 10 % des installations les plus performantes en termes d'émissions pour chaque secteur, permettant d'inciter les installations les moins performantes à se décarboner. Cet instrument présente toutefois certaines limites : i) les produits intensifs en émissions importés dans l'UE ne font pas l'objet d'une tarification carbone au moins équivalente à celle de l'UE ; ii) l'attribution de quotas gratuits réduit mécaniquement l'effet du signal-prix le long de la chaîne de valeur, induisant une répercussion incomplète du prix du carbone dans les produits européens intensifs en émissions ; iii) la décroissance plus rapide du plafond d'émissions du SEQUE induite par le rehaussement d'objectif de l'Union européenne à 2030 implique que le volume d'allocations gratuites pouvant être octroyées va diminuer plus fortement qu'anticipé, affectant leur capacité à prévenir efficacement les fuites de carbone à l'horizon 2030. Ces limites ont conduit l'UE à s'engager dans la réduction graduelle des allocations gratuites et à la mise en place d'un MACF.

2.1. Le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières

Un mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF) vise à taxer les émissions liées aux produits importés à un niveau équivalent à celui qui est appliqué aux produits nationaux soumis à une tarification carbone, avec pour objectif premier de lutter contre les fuites de carbone. Cela peut prendre différentes formes, le MACF européen n'étant qu'un des choix possibles. Son application est envisageable du point de vue des règles de l'Organisation mondiale du commerce (OMC), au titre des exceptions environnementales de l'article XX et du chapeau du GATT de 1995 (Pauwelyn et Kleimann, 2020³). Les modalités de l'ajustement doivent respecter un certain nombre de principes que nous ne détaillons pas ici et qui ont fait l'objet de longs débats entre la Commission, le Parlement et le Conseil européens avant de parvenir au projet de règlement commun du 18 décembre 2022.

L'impact d'un ajustement carbone à la frontière sur les fuites de carbone dépend fortement des modalités retenues pour son application, en particulier du périmètre des émissions couvertes (directes et/ou indirectes) ou des biens et secteurs couverts (limités à certains secteurs amont ou étendu à l'aval, à tous les secteurs industriels, etc.). Par ailleurs, l'impact est forcément

¹ Liste complète établie par la Décision déléguée (UE) 2019/708 de la Commission européenne du 15 février 2019 complétant la directive 2003/87/CE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne l'établissement de la liste des secteurs et sous-secteurs considérés comme exposés à un risque de fuite de carbone pour la période 2021-2030.

² Cour des comptes européenne (2020), *Le système d'échange de quotas d'émission de l'UE. L'allocation de quotas à titre gratuit devrait être mieux ciblée*, rapport spécial 18/2020, septembre.

³ Pauwelyn J. et Kleimann D. (2020), « *Trade related aspects of a carbon border adjustment mechanism. A legal assessment* », briefing pour la Commission du commerce international, avril.

dépendant des stratégies retenues dans les pays tiers, en termes d'évolution des politiques climatiques et de décarbonation de leurs propres secteurs émissifs (OCDE, 2020¹).

Nonobstant la présentation qui en est généralement faite, le MACF européen n'est ni un droit de douane, ni une taxe. C'est une réglementation qui complète une autre réglementation (celle du marché SEQUE) et impose aux importateurs européens de se procurer des certificats spécifiques (« certificats MACF ») à proportion des quotas du SEQUE qui auraient été achetés si le produit importé avait été fabriqué en Europe, avec le niveau d'émission du pays exportateur, déduction faite du prix explicite payé par l'exportateur².

Le Conseil de l'UE est parvenu à un accord sur le texte MACF dans le cadre de la présidence française de l'UE le 15 mars 2022 et le Parlement européen a adopté sa position le 22 juin 2022. Les colégislateurs ont ensuite trouvé un compromis sur le texte en décembre 2022. Selon cet accord, le MACF de l'UE sera mis en œuvre à partir du 1^{er} octobre 2023 avec une période de transition sans ajustement financier ni suppression des quotas gratuits jusqu'à fin 2025, puis une montée en charge progressive à compter de 2026.

Les points saillants de cette réglementation sont les suivants.

- La couverture sectorielle concerne six secteurs pilotes dès 2026 (acier, aluminium, ciment, fertilisants, électricité et hydrogène), l'ambition étant toutefois de couvrir l'ensemble des secteurs du SEQUE à risque de fuites de carbone à terme.
- Tous les pays exportant vers l'UE sont concernés, la possible exemption des Pays les moins avancés (PMAs) étant absente du dispositif européen³.
- La tarification carbone à la frontière prend comme référence⁴ les émissions réelles déclarées par l'exportateur, au niveau de l'unité de production.
- Un niveau d'émissions par défaut peut être appliqué si cette information n'est pas fournie.
- Le prix auquel le carbone est tarifé est déterminé par la différence entre le prix des quotas européens et le prix du carbone déjà payé -- le cas échéant -- dans le pays

¹ OCDE (2020), *Climate Policy Leadership in an Interconnected World...*, op. cit.

² Ainsi par exemple, importer une tonne d'acier depuis l'Inde impose de se procurer les quotas correspondants aux deux tonnes de CO₂ contenues, soit 160 euros selon la convention utilisée dans le graphique 1 *supra* (l'Inde n'a pas de prix explicite sur les émissions de l'acier).

³ Il peut y avoir une bonne raison à cela, ayant trait au souhait de conserver au mécanisme le caractère d'une incitation à la décarbonation quel que soit le pays exportateur. On pourrait préférer à cette exemption l'utilisation d'une partie des recettes du MACF pour financer le transfert de technologies vertes vers les PMAs.

⁴ Au-delà des émissions directes, la prise en compte des émissions indirectes, c'est-à-dire liées à l'électricité utilisée dans le processus de production des secteurs concernés, est une question difficile. L'accord trouvé prévoit l'inclusion des émissions indirectes du ciment et des fertilisants et du minerai de fer aggloméré (précurseur de l'acier) dès 2026, tandis que l'inclusion de celles de l'acier, de l'aluminium et de l'hydrogène interviendrait ultérieurement selon un calendrier et des modalités restant à définir. Avec une telle extension, la tarification du carbone importé est toutefois plus difficile à justifier en raison des subventions européennes aux énergies renouvelables.

exportateur. Le dispositif se substitue aux allocations gratuites du SEQUE pour les secteurs couverts par le MACF.

- La restitution aux exportateurs européens des quotas d'émission impliqués par la production qu'ils destinent aux marchés hors-UE est absente du Règlement européen, mais cette question fera l'objet d'un réexamen biennuel après la phase transitoire de mise en œuvre, accompagné d'éventuelles propositions législatives de la Commission européenne compatibles avec les règles de l'OMC. Concernant l'utilisation des recettes, le Parlement européen a proposé l'affectation des recettes au budget européen.

Au sein de l'UE, de fortes réserves demeurent sur certains pans du mécanisme, notamment l'absence de restitution des quotas aux exportateurs. Les exportateurs européens dans les secteurs soumis au SEQUE sont pénalisés par la disparition des quotas gratuits. Par ailleurs les exportateurs en aval des chaînes de valeur le sont par le renchérissement de leurs consommations intermédiaires. Plus généralement, ces difficultés posent la question de la mesure du contenu carbone de l'ensemble des consommations, domaine dans lequel l'étiquetage pourrait constituer une première étape vers une taxation plus systématique du carbone (Encadré 2).

Le MACF soulève les critiques des pays affectés, à savoir les exportateurs de produits fortement émissifs ne réduisant pas leurs émissions, ou les abattant par des instruments autres que de marché. En raison de la prise en compte des émissions de l'exportateur comme référence, toute réduction du CO₂ émis lors de la production implique en proportion une réduction de l'ajustement carbone. Seules les émissions restantes sont sujettes à une telle tarification. La question difficile dans une perspective internationale est alors : si, quand et pourquoi exempter certaines importations d'une tarification de ces émissions restantes ?

Dans ce cadre, la pertinence de l'utilisation de prix implicites du carbone pour le calcul des exemptions au MACF n'est pas évidente. Tout d'abord, on imagine mal créditer des exemptions sur la base de politiques climatiques futures hypothétiques considérées pour l'élaboration des équivalents prix-carbone. Ensuite, des politiques alternatives ayant des effets similaires sur les émissions peuvent avoir des impacts très différents de la tarification du carbone sur les coûts de production ou la compétitivité, tandis que des réglementations inefficaces auront un prix implicite artificiellement élevé qu'on ne souhaiterait pas prendre en compte complètement.

Encadré 2 – Une taxe carbone sur les produits finals avec hausse des revenus des ménages

Une mesure de compensation carbone à la frontière pose la question du champ des produits couverts. Un premier sujet concerne le champ des consommations intermédiaires couvertes par la compensation, le MACF adoptant une couverture limitée aux industries les plus émissives. Un second sujet concerne l'importation de produits finals intégrant des consommations intermédiaires carbonées non taxées, ou moins taxées, dans le pays d'origine. Dans ce cas, le contenu carbone échappe à la compensation, ce qui induit des fuites de carbone, sauf à étendre la compensation à l'ensemble des produits, ce qui peut poser un problème légal si la taxation carbone en Europe ne couvre pas tous les produits. Une approche complémentaire serait l'étiquetage carbone obligatoire des produits et une comptabilité carbone des produits et une comptabilité carbone des entreprises intégrant l'ensemble de la chaîne de valeur, y compris le transport¹. L'étape suivante serait alors de substituer ou de compléter le principe de taxation des émissions liées à la production par la taxation des émissions liées à la consommation, avec une baisse d'autres prélèvements obligatoires pour les ménages afin de préserver le pouvoir d'achat. Cette solution, qui concernerait l'ensemble des produits finis de grande consommation et non les seules industries émissives, n'a pas à notre connaissance fait l'objet d'une quantification à ce jour.

Mais le point crucial est que la tarification du carbone impose aux entreprises des coûts privés plus élevés que les politiques « hors prix » équivalentes, dans la mesure où leurs émissions restantes sont également soumises à une taxe, ce qui est traditionnellement justifié par l'argument des incitations à la décarbonation². Dès lors, les exportations de produits carbonés vers l'UE se voient appliquer un ajustement dont le montant est dépendant de la politique européenne (le choix d'un marché de quotas d'émission) pour

¹ Pour une synthèse, voir Afionis S., Sakai M., Scott K., Barrett J. et Gouldson A. (2017), « [Consumption-based carbon accounting: does it have a future?](#) », *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, vol. 8(1), janvier-février, e438.

² Une aciérie classique (réduction du minerai de fer par du coke dans un haut-fourneau) émet 1,8 tonne de CO₂ par tonne d'acier. Une tarification du carbone à 100 euros rendant rentable une technologie ramenant les émissions à 1,6 tonne n'aura pas les mêmes effets qu'une réglementation imposant de réduire les émissions à ce niveau. Avec la tarification du carbone, le producteur paye encore 160 euros par tonne d'acier pour les émissions restantes, paiement dont est dispensé le producteur dans l'option réglementation, ce qui représente un écart de 25 % sur le prix de vente du fer à béton (en date de la première semaine de mai 2023).

atteindre un objectif donné de réduction des émissions¹. Cette tarification des émissions restantes restaure des conditions de concurrence équivalentes sur le marché intérieur avec les producteurs européens, mais tel n'est pas l'esprit des exceptions prévues aux règles multilatérales du commerce : l'objectif d'un ajustement carbone à la frontière est environnemental, la question des subventions faussant les règles de concurrence relevant d'instruments de défense commerciale.

Enfin, toujours dans l'optique de conditions similaires entre importations et production domestique, accorder des exemptions à des importations sur la base de l'existence de prix implicites nécessiterait de calculer aussi les prix implicites auxquels les entreprises européennes font face, de façon à mesurer un écart entre les deux, lequel devrait être comblé par le MACF.

À la lumière des développements précédents, l'analyse économique suggérerait de ne considérer les politiques de prix faisant porter un coût sur les émissions marginales comme candidates aux exemptions. La méthodologie se rapprocherait donc plutôt de celle d'un prix global du carbone. Reste un problème de sous-optimalité pour certains prix (comme les tarifs de rachat) et de périmètre : doit-on prendre en compte les politiques de prix qui ont d'autres objectifs que la réduction des émissions ? Si par exemple il existe une taxe sur le carburant, pour des raisons de congestion, de sécurité ou de réduction des polluants autres que les gaz à effet de serre, et que la réduction du CO₂ n'est qu'un effet secondaire, une exemption doit-elle être accordée ? La Suède vient de renommer « taxe carbone » sa taxe sur le carburant tandis que l'Allemagne conserve une taxe carbone en supplément de sa taxe sur le carburant : il n'est donc pas facile, même au sein de l'Europe, de délimiter le périmètre de ce qui devrait être pris en compte pour une éventuelle exemption.

Ces difficultés conceptuelles laissent la place à de grandes marges d'appréciation de l'engagement des partenaires de l'UE dans l'effort de décarbonation, marges qui devraient être prises en compte dans la réflexion sur la réponse à apporter aux subventions liées à l'IRA.

2.2. Les approches complémentaires

Le MACF est une action unilatérale, de même que l'engagement européen du Pacte vert pour l'Europe dont il est un des éléments. En complément, une meilleure coordination internationale des politiques d'atténuation permettrait de limiter les risques de fragmentation et les fuites de carbone. L'établissement d'un prix du carbone mondial

¹ Il s'agit ici d'une simplification ignorant les subventions pouvant être versées pour adopter cette nouvelle technologie.

harmonisé entre tous les pays serait un instrument de premier rang mais paraît difficile à mettre en œuvre sur le plan politique. À ce titre, plusieurs initiatives de second rang ont été proposées. Les institutions multilatérales poussent l'agenda d'une métrique commune des efforts (voir *infra*) et, s'agissant du FMI (Parry *et al.*, 2021¹), d'un prix minimum du carbone différencié selon le niveau de développement². Un tel système, outre sa faible acceptabilité politique³, bute sur deux écueils : les prix différenciés ne sont pas déterminés par une optimisation prenant en compte les coûts marginaux d'abattement et les différences résiduelles de prix laissent irrésolu le problème de fuites.

L'idée d'un « Club climat » initiée par Nordhaus (2015)⁴ a été récemment reprise, mais édulcorée, sous l'impulsion de la présidence allemande du G7 en 2022 : il s'agit d'un forum de discussion inclusif aux critères d'entrée relativement souples visant essentiellement à mettre en commun les bonnes pratiques – en premier lieu sur la décarbonation de l'industrie – et à renforcer l'analyse de l'impact des politiques d'atténuation, avec notamment le développement de métriques communes. Les discussions au sein du Club climat allemand démarreront vraisemblablement sous les auspices de la COP 28.

¹ Parry I., Black S. et Roaf J. (2021), « [Proposal for an international carbon price floor among large emitters](#) », Fonds monétaire international, IMF Staff Climate Notes 2021/001.

² Soit 25 dollars pour les pays émergents à bas revenu (Inde et la plupart des pays africains), 50 dollars pour les pays émergents à haut revenu comme la Chine et 75 dollars pour les pays avancés comme ceux de l'UE ou les États-Unis.

³ Par construction, cette proposition fait porter tout l'effort sur les pays émergents.

⁴ Nordhaus W. (2015), « [Climate clubs: Overcoming free-riding in international climate policy](#) », *American Economic Review*, vol. 105(4), avril, p. 1339-1370. Nordhaus propose que les pays du Club imposent un droit de douane modéré mais punitif sur tous les non-membres, pour les inciter à rejoindre le Club.



CHAPITRE 4

CE QUE LES MODÈLES (NE) DISENT (PAS)

Il existe une abondante littérature sur l'analyse de mécanismes de type mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF), incluant des revues de littérature (Böhringer *et al.*, 2022 ; Fontagné et Schubert, 2023¹). Cependant, il y a encore relativement peu d'études s'intéressant aux détails du MACF européen (Pyrka *et al.*, 2020 ; Commission européenne, 2021 ; Korpar *et al.*, 2022 ; Bellora et Fontagné, 2023²). Il est utile de rappeler pour commencer la distinction entre scénario de référence (la trajectoire de l'économie mondiale à un certain horizon sans la mise en œuvre du MACF, mais intégrant les autres instruments, comme les allocations gratuites) et le scénario simulé dans lequel le MACF est introduit. S'agissant de la référence, la difficulté est de savoir quelle politique climatique chaque pays met effectivement en place pour atteindre ses objectifs : les engagements de Paris n'étant pas contraignants, ils ne peuvent pas servir de point de départ de l'analyse. Concernant le scénario, le MACF remplaçant les allocations gratuites, leur suppression doit être un élément de la politique mise en place. Nous présentons dans ce chapitre, puis discutons, le résultat de simulations de mécanismes de type MACF réalisées avec des modèles globaux (couvrant l'économie mondiale) et sectoriels (s'intéressant aux différences d'émissions décrites dans le chapitre précédent).

¹ Böhringer C., Fischer C., Rosendahl K. E. et Rutherford T. F. (2022), « Potential impacts and challenges of border carbon adjustments », *Nature Climate Change*, vol. 12, janvier, p. 22-29 ; Fontagné L. et Schubert K. (2023), « The economics of BCA: Rationale and impacts of compensating carbon at the border », *Annual Review of Economics*, à paraître.

² Pyrka M., Boratyński J., Tobiasz I., Jeszke R. et Sekuła M. (2020), *The Effects of the Implementation of the Border Tax Adjustment in the Context of More Stringent EU Climate Policy Until 2030*, Center for Climate and Energy Analyses, septembre ; Commission européenne (2021), *Impact Assessment Report Accompanying the Document « Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council Establishing a Carbon Border Adjustment Mechanism »*, juillet ; Korpar N., Larch M. et Stöllinger R. (2022), « The European carbon border adjustment mechanism: A small step in the right direction », *International Economics and Economic Policy*, vol. 20(1), décembre, p 95-138 ; Bellora C. et Fontagné L. (2023), *EU in Search of a Carbon Border Adjustment Mechanism*. *Energy Economics*, à paraître.

1. Quelques résultats

Trois simulations de nature très différente sont proposées ici. Elles illustrent les difficultés de modélisation et les précautions à prendre dans l'interprétation des résultats. Elles reposent également sur des périmètres sectoriels différents, ne reflétant dès lors pas forcément le champ couvert par le MACF européen, au moins dans ses premières années de fonctionnement. La première est celle de ThreeME (Encadré 3) avec lequel est simulé, pour la France, un choc de fiscalité sur les importations de biens et services intermédiaires hors-UE, dépendant de leur contenu carbone. La deuxième est celle de Vulcain, découpant l'économie mondiale en trois régions (France, reste de l'UE, reste du monde) et appliquant un MACF stylisé. La troisième est une modélisation détaillée du MACF avec Mirage, décomposant le monde en vingt-huit régions, l'UE 27 étant l'une d'entre elles, et chacune de ces économies en vingt-sept secteurs.

Encadré 3 – Le modèle ThreeME

ThreeME, abréviation de Multi-sector Macroeconomic Model for the Evaluation of Environmental and Energy policy, est un modèle macroéconomique et multisectoriel représentant un pays en économie ouverte, développé par l'Ademe, l'OFCE et l'Observatoire néerlandais des conjonctures économiques. Sa désagrégation sectorielle permet l'analyse des effets du transfert d'activité d'un secteur à un autre, notamment en termes d'emplois, d'investissement, de consommation d'énergie et de commerce extérieur. Sa désagrégation énergétique permet l'analyse des comportements en matière de production et de consommation d'énergie. Les secteurs d'activité peuvent arbitrer entre différents investissements énergétiques : substitution entre capital, travail et énergie quand les prix relatifs changent, substitution entre sources d'énergie. Les ménages peuvent substituer entre sources énergétiques, entre modes de transport et entre types de biens ou services.

La version française dispose d'une segmentation en dix-sept secteurs énergétiques et cinq secteurs de transport (transports ferroviaire, routier de voyageurs et de marchandises, par eau et aérien). Le secteur pétrolier est subdivisé en deux, pétrole et biocarburant ; celui de la production et distribution d'électricité en huit technologies : nucléaire, centrale au fioul, centrale combinée gaz, centrale au charbon, éolien, solaire, hydraulique et cogénération. Enfin la production et la distribution de gaz et de chaleur sont assurées par six secteurs : gaz naturel, bois, biogaz, UIOM (usines d'incinération des ordures ménagères), géothermie et cogénération. Un tel niveau de détail est important pour l'analyse de toute politique économique ayant pour objectif de faire évoluer les comportements de production et de consommation, en modifiant les prix relatifs entre secteurs et produits.

À la différence des modèles d'équilibre général calculable (EGC ou CGE - *Computable general equilibrium*) – voir ci-dessous Mirage ou Vulcain –, ThreeME retient une règle de bouclage néo-keynésienne : les prix et les quantités sont rigides à court terme et n'équilibrent donc pas instantanément l'offre et la demande optimales. Les prix et les quantités effectives s'ajustent lentement à leur optimum défini par un comportement de maximisation (du profit pour les entreprises, de l'utilité pour les ménages). Cela a l'avantage de permettre des situations de déséquilibre entre l'offre et la demande ou de sous-emploi (par exemple le chômage involontaire). Ce cadre théorique fournit des informations concernant la phase de transition des effets d'une politique (et pas seulement une analyse de long terme).

Le scénario simulé avec ThreeME se caractérise par un choc de fiscalité indirecte sur l'ensemble des importations hors-UE de biens et services intermédiaires entrant dans la production des entreprises localisées en France. Le périmètre couvert par la tarification carbone à l'entrée dans l'UE est donc plus large que celui du MACF. Il n'y a pas de représentation explicite du fonctionnement du marché SEQE, notamment concernant la détermination du prix des quotas ou les allocations gratuites de quotas aux industries exposées à la concurrence internationale. Deux variantes sont simulées, l'une portant sur une imposition restreinte aux émissions directes importées hors-UE, la seconde faisant l'hypothèse que l'ensemble des émissions importées sont imposées, directes et indirectes.

Le prix des importations se voit affecté par un surcoût, dont le montant est calibré en fonction de leur intensité carbone. Le montant supplémentaire calculé de la tarification carbone va ensuite dépendre du taux appliqué, exprimé en euros par tonne de CO₂ et il est fait l'hypothèse que ce dernier commence à 40 euros en 2022 pour converger ensuite à 100 euros en 2027, après quoi il est maintenu à ce niveau jusqu'en 2030. Les recettes fiscales issues de cette fiscalité ne sont pas allouées à des dépenses supplémentaires de la part du gouvernement et conduisent dans cette simulation à réduire le déficit public.

Pour l'année 2030, le volume total de recettes fiscales de la taxation du carbone à la frontière représente 9,7 milliards d'euros si l'ensemble des émissions intermédiaires importées est taxé, et 2,5 milliards d'euros quand ce ne sont que celles directes. Ces chiffres sont un majorant de l'effet d'une telle taxation : l'hypothèse retenue est celle d'une couverture sectorielle beaucoup plus large que le MACF puisque tous les biens et services utilisés en consommation intermédiaire sont concernés, et non les seuls biens

intermédiaires des secteurs SEQE. L'essentiel des émissions indirectes liées aux consommations intermédiaires est également hors du champ du MACF¹.

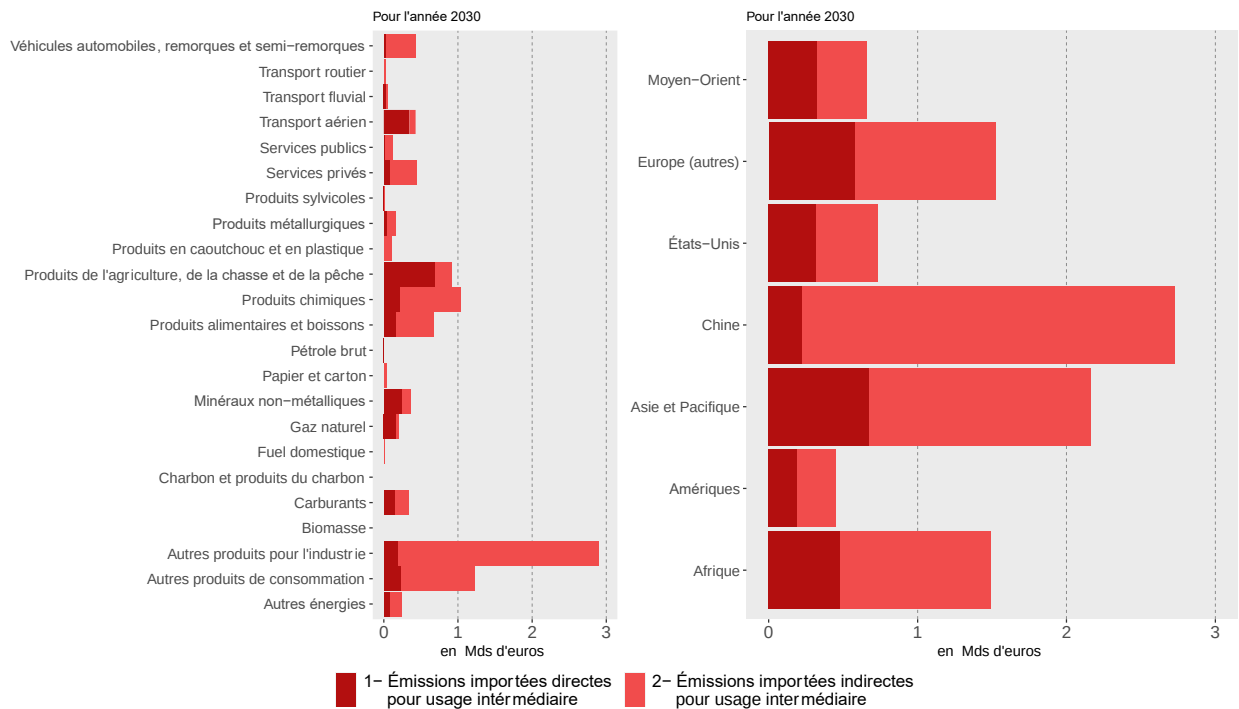
Sous ces hypothèses, la Chine est le premier contributeur avec 2,7 milliards d'euros (dont 0,22 milliard pour émissions directes), suivi de l'Asie-Pacifique avec 2,2 milliards (dont 0,67 milliard sur émissions directes). Les produits principalement touchés sont ceux appartenant à l'agrégat autres produits pour l'industrie (2,9 milliards), les produits chimiques (1 milliard) et les autres produits de consommation (1,2 milliard). Dans le cas où seulement les émissions directes sont taxées, les principaux produits touchés sont ceux de l'agriculture avec 0,69 milliard d'euros, le transport aérien avec 0,35 milliard, les minéraux non métalliques avec 0,24 milliards et les produits chimiques avec 0,20 milliard.

D'un point de vue macroéconomique, cette taxation conduit à accroître la compétitivité-prix relative de la France vis-à-vis des pays hors-UE, et donc à substituer pour partie à ses importations une production domestique et européenne. Cela conduit dans le cas d'un choc sur l'ensemble des émissions importées à une réduction du déficit commercial (0,3 point de PIB en 2030), contrebalancée par une réduction de la consommation et de l'investissement ayant respectivement un effet négatif de -0,16 et -0,04 point de PIB. Au total, la variation est modeste, avec un effet positif de 0,08 point de PIB à long terme. L'effet inflationniste est compris entre 0,35 % pour l'indice des prix de valeur ajoutée, et 0,95 % pour celui des prix des importations, la transmission du choc étant immédiate avec un effet maximal dès 2027. Les prix à la consommation et à la production augmentent respectivement de 0,54 % et 0,43 %.

Ces résultats doivent être interprétés comme une illustration des effets macroéconomiques associés à un surcoût des importations intermédiaires, induits par une tarification du carbone importé, avec une variante qui prend en considération la fragmentation des chaînes de valeurs. Cependant ce modèle ne prend pas en compte la hausse des prix sur le marché européen qui affecte négativement la compétitivité non seulement pour les exportations mais aussi pour la consommation de produits locaux.

¹ Plus précisément, l'accord sur le MACF prévoit la prise en compte des émissions liées à la production de l'électricité utilisée pour la fabrication du ciment, des fertilisants et du minerai de fer aggloméré dès 2026. L'inclusion des émissions indirectes liées à la production de l'acier, de l'aluminium et de l'hydrogène est prévue à terme.

Graphique 3 – Revenu fiscal par produit et par partenaire commercial pour une taxe carbone aux frontières des consommations intermédiaires à 100 € la tonne de CO₂ en 2030



Source : simulation ThreeME

Le modèle Vulcain (Encadré 4) permet de simuler en statique comparative les effets d'une réduction du plafond d'émissions d'un système de quotas élargi à l'ensemble des émissions territoriales de CO₂ de l'UE sur le PIB de l'UE, avec ou sans ajustement carbone aux frontières sur l'ensemble des biens industriels. En partant d'une absence de contrainte sur le niveau des émissions, le plafond d'émissions est progressivement réduit, induisant une hausse endogène du prix du quota (Graphique 4). Aucun quota d'émission gratuit n'est octroyé aux entreprises émettrices dans cette modélisation, contrairement à la situation actuelle où des quotas sont alloués gratuitement aux industries du périmètre SEQUE exposées à la concurrence internationale. Les recettes des quotas sont redistribuées forfaitairement aux ménages, et le budget de l'État est toujours équilibré. La technologie est supposée inchangée.

La hausse du prix du quota induite par la baisse du plafond d'émissions (courbe orange du graphique 4) s'accompagne d'une perte modérée de PIB pour l'UE. Le dispositif permet par exemple d'atteindre une réduction de 12,5 % des émissions territoriales de CO₂ de l'UE au prix d'une perte de PIB européen limitée à 0,20 point. Néanmoins, le coût économique de la décarbonation des secteurs bruns et du secteur de production d'électricité s'accroît de façon non linéaire, de sorte qu'une réduction de 25 % des émissions territoriales s'accompagne d'une perte de 0,57 point de PIB.

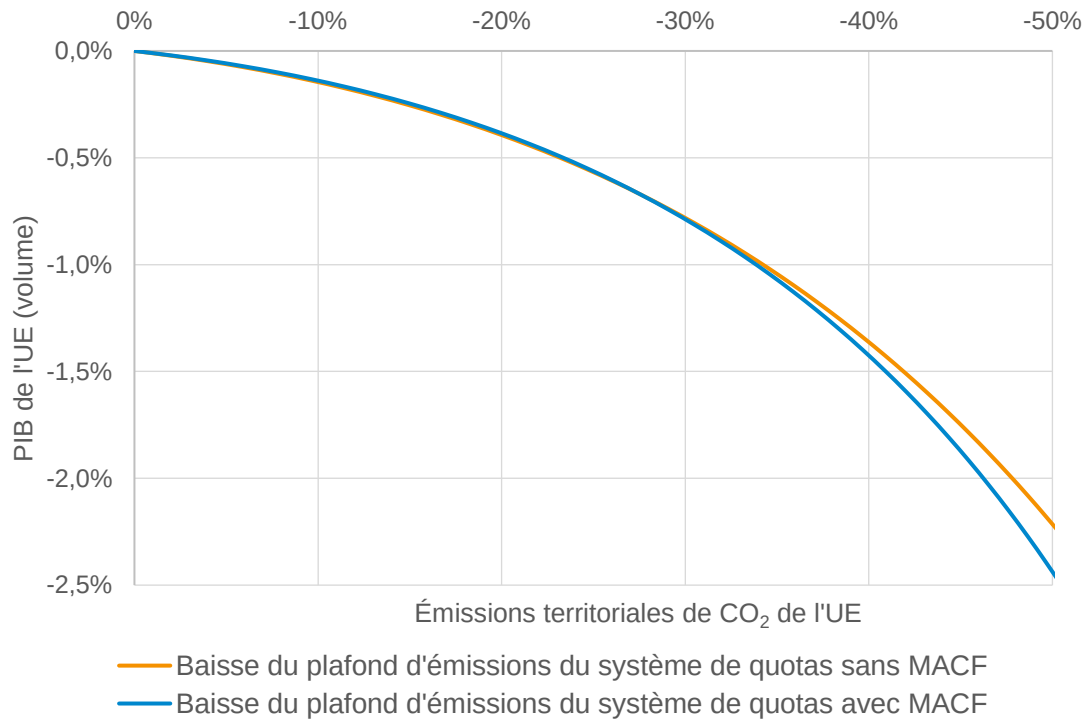
Encadré 4 – Le modèle Vulcain 2

Le modèle Vulcain 2, développé au sein du Commissariat général au développement durable (CGDD), est un modèle d'équilibre général calculable (EGC ou CGE - *Computable general equilibrium*) représentant de manière stylisée les mécanismes de transition énergétique fondés sur les signaux-prix. Les biens produits dans cette économie se répartissent en quatre catégories selon qu'ils sont verts (production à partir d'électricité) ou bruns (production à partir de combustibles fossiles), et selon qu'ils sont abrités ou exposés à la concurrence internationale.

Pour le calibrage, les secteurs exposés correspondent à l'industrie, le reste de l'économie étant considéré comme abrité. Le secteur de production d'électricité est lui-même modélisé de manière à permettre une évolution du mix électrique, notamment entre l'électricité d'origine thermique et les électricités décarbonées. Il est aisé de substituer la consommation entre biens verts et bruns, mais il est difficile de substituer sa consommation entre biens exposés et abrités. L'économie mondiale est décomposée en trois régions : la France, le reste de l'UE et le reste du monde. Le marché de quotas est représenté sous la forme d'un plafond d'émissions de CO₂ pour l'ensemble des secteurs émetteurs de CO₂, c'est-à-dire les secteurs bruns et le secteur de production d'électricité. Les secteurs verts sont indirectement impactés, via leur consommation d'électricité d'origine fossile. Le MACF est représenté en contraignant les importateurs de biens exposés bruns, et de biens exposés verts pour leur contenu carbone indirectement lié à l'électricité, à payer un ajustement sur le contenu carbone de leurs importations d'un niveau égal à celui des quotas.

Il s'agit donc d'une approche stylisée permettant de comprendre facilement les principales conséquences d'un ajustement carbone aux frontières, mais sans correspondre aux spécificités du MACF actuellement en discussion au sein de l'UE, en particulier pour ce qui concerne les impacts différenciés entre secteurs amont et aval de la chaîne de production. En revanche, la distinction faite entre les biens bruns et verts permet de tenir compte du risque que les pays du reste du monde s'accommodent du MACF en exportant leurs biens les plus verts et en consommant localement leurs biens bruns.

Graphique 4 – Effets d’une réduction du plafond d’émissions sur le PIB de l’UE, avec et sans MACF



Source : CGDD, modèle Vulcain 2 (provisoire), version de mai 2023

Le secteur le plus négativement affecté est le secteur brun exposé, lequel fait face à une forte concurrence de la part des producteurs étrangers, d’où précisément les allocations gratuites distribuées dans la réalité pour éviter cet effet. Le secteur brun abrité pâtit également de la hausse du prix après tarification carbone de l’énergie fossile, mais moins que le secteur brun exposé, en raison de sa moindre exposition à la concurrence internationale. La hausse du prix relatif après tarification carbone de l’énergie fossile par rapport à l’électricité induit par ailleurs une hausse de l’activité des secteurs verts, ainsi que de la production d’électricité.

Les émissions territoriales de CO₂ diminuent fortement au travers d’investissements de décarbonation massifs et d’un report vers l’énergie électrique, mais cette baisse est nuancée par la hausse des émissions dans le reste du monde, dans la mesure où le secteur exposé de l’UE est moins compétitif et où le prix de l’énergie fossile non tarifée baisse. Ces éléments montrent que le renforcement de la contrainte sur les émissions territoriales ne peut se faire pertinemment que s’il est accompagné de dispositifs destinés à réduire les fuites de carbone, comme un ajustement carbone aux frontières.

L’ajout d’un MACF sur l’ensemble des biens industriels importés lors de la réduction du plafond d’émissions (courbe bleue du graphique 4) a des effets très limités sur l’économie

européenne à niveau d'émissions territoriales donné : ceci vient de ce que les allocations gratuites de quotas d'émissions sont déjà absentes lorsque le MACF est introduit dans le modèle, alors que le dispositif retenu vise en pratique à supprimer les allocations gratuites en contrepartie de l'introduction du MACF. Pour des niveaux de contrainte faibles, le MACF permet de limiter de manière extrêmement légèrement les pertes de PIB, notamment en réduisant les pertes de compétitivité dans le secteur industriel. À l'inverse, lorsque le prix du quota devient élevé, le ralentissement du commerce international devient plus marqué, ce qui accroît les pertes de PIB par rapport à la situation sans MACF.

Par ailleurs, le MACF permet de réduire significativement les fuites de carbone et les délocalisations. Un ajustement carbone large, sur l'ensemble des biens industriels, réduit ainsi de près d'un tiers les fuites de carbone, cette réduction relative des fuites étant de plus en plus forte à mesure que le plafond d'émissions territoriales se réduit.

Le modèle Mirage (Encadré 5) permet de simuler dans une perspective dynamique, globale et sectorielle les effets du MACF (Bellora et Fontagné, 2023¹). Le scénario de référence est celui d'une mise en place de l'agenda du Pacte vert européen (réduction des émissions de 55 % en 2030 par rapport à 1990 pour l'économie européenne dans son ensemble et de 62 % par rapport à 2005 pour les secteurs SEQUE), en l'absence de MACF, les secteurs du SEQUE bénéficiant cette fois de quotas gratuits d'émissions. Cela donne la trajectoire *endogène* du prix des quotas SEQUE compatible avec la réduction programmée des émissions. Le reste de l'économie européenne s'ajuste à un prix implicite endogène du carbone permettant d'atteindre l'objectif général de réduction des émissions de 55 %, déduction faite des efforts réalisés sur le SEQUE. Les fuites apparaissent parce que l'exercice fait l'hypothèse que tous les pays ne respectent pas nécessairement leurs engagements climatiques. Hors de l'UE, les pays ne respectent leurs engagements que si ces derniers sont inconditionnels et si un marché du carbone existe. Un traitement spécifique de la Chine est introduit, ce pays réalisant une partie des efforts annoncés. Il s'agit donc d'hypothèses fortes, majorant les fuites de carbone. Cela permet de vérifier l'efficacité des quotas gratuits pour limiter ces fuites.

Le scénario simulé est celui de la mise en place progressive du MACF pour l'ensemble des secteurs SEQUE, allant de pair avec la suppression progressive des quotas gratuits. Il n'y a pas de restitution des quotas aux exportateurs européens. Les importateurs européens achètent sans limitation de quantité des certificats (équivalent à des quotas) correspondant aux émissions moyennes du secteur du pays d'exportation², au prix du marché SEQUE déduction faite du prix explicite du carbone payé dans le pays d'origine.

¹ Bellora et Fontagné (2023), *EU in Search of a Carbon Border Adjustment Mechanism...*, *op. cit.*

² Il s'agit d'une simplification : le règlement prévoit que l'exportateur individuel peut se prévaloir d'émissions inférieures à celles de la moyenne de son pays d'origine dans le secteur auquel il appartient.

Tous les secteurs SEQE sont couverts, ce qui est plus large que le périmètre effectivement retenu dans un premier temps pour la mise en place du MACF. Une différence avec le futur règlement est que les pays les moins avancés sont exemptés, ce qui a de fait un impact limité compte tenu de leur participation réduite aux exportations des secteurs concernés. Les émissions indirectes (liées à l'utilisation de l'électricité) ne sont pas prises en compte dans le calcul de l'ajustement du MACF sur les importations.

Encadré 5 – Le modèle Mirage

Mirage est un modèle d'équilibre général calculable développé au CEPII. Sa couverture est mondiale et multisectorielle, ce modèle est dynamique (de façon récursive). Les agents réalisent une optimisation intra-temporelle et la dynamique est assurée par la réallocation des ressources entre secteurs d'une période à l'autre en fonction des différences de taux de rendements dans ces secteurs. Le capital installé se renouvelle progressivement par une combinaison d'amortissement et d'investissements nouveaux réalisés dans chaque secteur. Le sentier dynamique du modèle est donné par les projections du modèle MaGE, y compris la trajectoire de compte courant (voir *infra*).

La version utilisée ici (Bellora et Fontagné, 2023) différencie, pour chaque secteur, les flux bilatéraux de commerce international en fonction des utilisations finales ou intermédiaires faites des produits concernés, et ceci afin de retracer les chaînes de valeur. Le modèle comporte un module environnemental représentant les émissions de l'ensemble des gaz à effet de serre (GES), et pas seulement le CO₂, et une représentation détaillée du marché européen des quotas d'émission. Dans cette version, les énergies considérées sont le pétrole, le gaz, le charbon, le pétrole raffiné et l'électricité. Une nouvelle version, en cours de test, introduit les énergies renouvelables. Chaque région suit (ou non) la trajectoire qu'elle s'est fixée dans son NDC à partir d'un prix implicite des GES représentant l'effort consenti. En UE, le modèle prend en compte à la fois un prix explicite pour le marché SEQE et un prix implicite pour le reste de l'économie. Le modèle est calibré à partir de la base GTAP 10.1, utilisant 2014 comme année de base, dans sa version intégrant les relations *input-output* multirégionales.

Sous ces hypothèses, le MACF réduit les fuites de 41 % sur la période de mise en œuvre¹. L'instrument atteint donc (partiellement) son objectif environnemental. Les importations de biens intermédiaires à l'horizon 2030 sont réduites de 8 % par rapport au scénario de référence². Les exportations de l'Inde sont affectées au premier chef (-28 %). La Chine est moins affectée car ses exportations sont déjà contraintes par des mesures de défense commerciale (-6 %). Il s'agit d'effet moyen : pour les secteurs concernés par le MACF l'impact sur les importations de l'UE depuis ces pays est encore plus conséquent.

Du côté européen, les exportations diminuent également : les exportations de biens intermédiaires de l'UE sont pénalisées par la disparition des allocations gratuites, tandis que les exportations de biens finals diminuent car les producteurs européens paient leurs consommations intermédiaires carbonées plus cher ce qui réduit leur compétitivité. La mise en place du MACF s'analyse *in fine* comme la suppression d'une subvention à la production (les allocations gratuites) et la mise en place d'une protection à la frontière pour les produits situés en amont des chaînes de valeur³.

En amont, l'effet net sur la valeur ajoutée dépend du report de la demande sur les produits européens. En aval, l'effet dépend de la perte de compétitivité sur les marchés extérieurs, mais aussi de la concurrence sur le marché intérieur de produits finals dont les consommations intermédiaires carbonées n'ont pas été taxées dans le pays exportateur. Tout ceci se traduit par un écart négatif de plus d'un point de PIB en 2040 par rapport au scénario de référence⁴.

2. Comment interpréter les modèles

Il est important de lister les différents mécanismes en jeu avec le MACF et la manière avec laquelle ceux-ci sont représentés dans les différents modèles. La littérature n'ayant pas systématiquement explicité le rôle des différents mécanismes, leur contribution exacte aux résultats reste spéculative. Un premier sujet concerne le scénario représenté et l'importance du choc. Un deuxième sujet concerne la représentation des allocations gratuites concédées aux secteurs exposés aux fuites du fait de la concurrence internationale. Un troisième sujet

¹ Il s'agit des fuites cumulées, constituant la métrique pertinente s'agissant du stock de gaz à effet de serre émis dans l'atmosphère sur la période.

² Celles de biens finals 3 % en raison d'effets d'équilibre général.

³ On peut illustrer cette discussion en considérant l'industrie automobile : l'acier et l'aluminium sont en amont de la chaîne de valeur, la fabrication des véhicules en aval.

⁴ L'année 2040 est choisie pour laisser le temps au modèle de s'ajuster, la substitution capital-énergie n'étant pas instantanée dans le modèle mais se faisant au rythme du renouvellement des équipements. Le chiffre exact est de -1,3 % de PIB.

concerne l'effet net d'une suppression de ces allocations gratuites et de leur remplacement par une protection à la frontière rendant l'offre domestique de produits carbonés relativement plus compétitive par rapport aux importations. Un quatrième sujet concerne la réaction des producteurs étrangers à l'instauration de la compensation à la frontière (nous laissons ici de côté les rétorsions commerciales éventuelles des pays exportateurs pour nous intéresser à la réaction des entreprises exportatrices affectées). Un dernier sujet concerne l'agrégation géographique des modèles.

2.1. Scénario et choc

En première approximation, imposer un mécanisme de type MACF revient à mettre en place des droits de douane de valeurs différentes entre les secteurs et partenaires commerciaux. D'autres effets pourront être importants comme la suppression des quotas gratuits dans le cas du mécanisme européen, mais l'effet de premier ordre devrait être celui d'un droit de douane, ce qui nous permet de rapprocher les résultats sur le MACF de l'abondante littérature sur l'effet des politiques commerciales (Costinot et Rodríguez-Clare, 2014)¹.

Malheureusement, trop peu d'études explicitent les niveaux de droit de douane correspondant à la mise en place d'un MACF. D'après Korpar *et al.* (2022)², il s'agirait pour un prix sur le marché SEQE de 65 euros de quelques pourcents de droit de douane (chiffres similaires dans Pyrka *et al.*, 2020³, fig. 6), mais avec beaucoup d'hétérogénéité selon les exportateurs, les droits pouvant atteindre 10 % pour les exportations russes de métaux. Les droits dépendent bien sûr du prix du carbone et peuvent atteindre 20-40 % pour un prix de 250 euros.

Les modèles utilisés pour simuler le MACF ont tous une structure similaire fondée sur l'hypothèse dite « d'Armington » pour la représentation du commerce. Sous cette hypothèse, des biens produits dans deux pays différents sont considérés comme imparfaitement substituables par les consommateurs. Une conséquence de cette imparfaite substituabilité est qu'un droit de douane unilatéral faible aura tendance à augmenter le revenu réel du pays importateur. En effet, les distorsions économiques créées par un droit de douane faible impliquent certes une réduction de la consommation et une augmentation de la production, mais ceci est plus que compensé par

¹ Costinot A. et Rodríguez-Clare A. (2014), « Trade Theory with Numbers: Quantifying the Consequences of Globalization », in Helpman E., Rogoff K. et Gopinath G. (dir.), *Handbook of International Economics*, Amsterdam, Elsevier, p. 197-261.

² Korpar *et al.* (2022), « [The European carbon border adjustment mechanism...](#) », *op. cit.*

³ Pyrka *et al.* (2020), [The Effects of the Implementation of the Border Tax Adjustment...](#), *op. cit.*

l'augmentation des recettes fiscales¹. La notion de ce qu'est un droit de douane faible dépend principalement des élasticités de commerce². Pour une valeur typique de -5, cela implique un droit de douane optimal de 20 % (Costinot et Rodríguez-Clare, 2014, section 4.1), et cette augmentation du revenu réel peut être observée pour des droits de douane allant jusqu'à 50 %³. Une conséquence est qu'on pourrait attendre des effets positifs du MACF pour un prix SEQE faible. À l'inverse, lorsque la politique climatique est plus ambitieuse, les effets distorsifs pourraient dominer les effets tarif optimal et les effets du MACF pourraient devenir négatifs pour l'économie domestique.

Dans ces modèles, il faut donc distinguer deux aspects : l'ambition du scénario contrefactuel et le coût pour atteindre cette ambition. Selon les modèles, un même objectif de réduction peut être réalisé à des prix du carbone très différents, ce qui amènera donc à des niveaux de protection à la frontière très différents. Ainsi dans l'analyse d'impact de la Commission européenne (2021)⁴, l'objectif du Fit for 55 est atteignable avec un prix – probablement sous-estimé – du carbone de 45 euros. Dans Bellora et Fontagné (2023), le même objectif requiert un prix du carbone supérieur à 200 euros, ce qui ne signifie pas pour autant que l'équivalent « droit de douane » du MACF soit suffisamment élevé pour impliquer des pertes de revenu réel : le taux de droit de douane de 22 % obtenu à l'horizon de la simulation pour le secteur de la sidérurgie est au-delà du tarif optimal (15 %) mais en deçà du tarif pour lequel les effets deviennent négatifs⁵.

Dans la simulation avec Vulcain du graphique 4 *supra*, pour des niveaux de contrainte faibles sur le plafond d'émissions et des prix bas sur le marché SEQE, le MACF permet ainsi de limiter légèrement les pertes de PIB, tandis que lorsque le prix des quotas SEQE devient élevé, le MACF accroît les pertes de PIB.

Dans Bellora et Fontagné (2023), bien que les droits de douane correspondants au MACF soient dans une zone dans laquelle des gains pourraient être espérés, la mise en

¹ Le droit de douane amène les producteurs étrangers à baisser leur prix.

² L'élasticité de commerce est définie comme la réaction en pourcentage de la valeur de commerce à une augmentation de 1 % des coûts au commerce.

³ L'hétérogénéité des droits de douane peut affecter ce résultat, mais la direction est incertaine.

⁴ Commission européenne (2021), *Impact Assessment Report Accompanying the Document « Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council Establishing a Carbon Border Adjustment Mechanism »*, juillet.

⁵ L'élasticité d'Armington est de 6,7 dans ce secteur chez Bellora et Fontagné (2023), ce qui donne un tarif optimal de 15 %. À l'horizon de la simulation, le prix du carbone a augmenté en Europe et avec lui l'efficacité énergétique. En partant de 2021, avec une émission moyenne de 1,8 tonne de carbone par tonne de métaux et un prix moyen de l'acier de 1 500 euros, et en tenant compte de l'augmentation simulée du prix des quotas et de la diminution de l'intensité d'émission, l'équivalent tarifaire du MACF dans leur scénario central pour le secteur est de 22 %.

place du MACF (incluant la suppression des allocations gratuites) tend à diminuer le PIB. Cela implique que les effets protecteurs du droit de douane sur les secteurs concernés sont contrebalancés par la disparition d'une subvention à la production (les allocations gratuites) et par les effets négatifs ailleurs dans l'économie, spécialement sur les secteurs aval exposés à une augmentation du prix de leurs intrants.

2.2. Allocations gratuites

Le MACF est une alternative aux allocations gratuites de quotas d'émission aux secteurs exposés à la concurrence internationale et donc aux fuites de carbone. Son effet pourrait donc grandement dépendre de la manière de représenter les allocations gratuites de quotas CO₂. Théoriquement, l'effet des allocations gratuites dépend de la structure de marché (Wang et Zhou, 2017), mais la plupart de ces modèles de simulation consacrés au MACF reposent sur une hypothèse de concurrence parfaite – Bellora et Fontagné (2023) sont une exception. Cette dernière implique une plus grande transmission du prix du carbone au prix de vente qu'une situation de concurrence imparfaite, ce qui aurait tendance à diminuer l'intérêt d'allocations gratuites : si les entreprises couvertes par le SEQE augmentent leur prix de vente malgré les allocations gratuites alors elles sont susceptibles de perdre en compétitivité. Pour limiter dans les modèles une excessive transmission des prix, deux stratégies de modélisation ont été adoptées :

- soit considérer que les allocations gratuites viennent en déduction des quotas carbone à acheter. Cette solution minimise la transmission au prix de vente. C'est la solution adoptée dans Mirage (Bellora et Fontagné, 2023) et GEM-E3 (Commission européenne, 2021) ;
- soit considérer que les allocations gratuites servent à financer une subvention au prix producteur, solution adoptée dans le modèle Vulcain et qui devrait amener à plus de transmission des prix du carbone aux consommateurs tout en maintenant la compétitivité des secteurs concernés.

Les travaux empiriques sur cette question ne sont pas assez nombreux pour déterminer la meilleure approche. Le récent travail de Dechezleprêtre *et al.* (2023, fig. 10¹) montre que la réduction des émissions liée au SEQE évolue linéairement avec le niveau d'allocations gratuites, devenant même nulle pour des allocations importantes (potentiellement supérieure à 100 %). Ce résultat montre bien que les allocations gratuites diminuent l'incitation à abattre les émissions, mais ne permettent pas de trancher entre les approches.

¹ Dechezleprêtre A., Nachtigall D. et Venmans F. (2023), « [The joint impact of the European Union emissions trading system on carbon emissions and economic performance](#) », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 118, mars.

2.3. Protection à la frontière vs subvention à la production

Par la protection qu'il fournit pour les secteurs concernés, un MACF pourrait avoir tendance à stimuler la production domestique de ces secteurs (sauf si l'absence de restitution aux exportations décourage trop les exportations). Cette augmentation de la production doit se traduire par une demande accrue de quotas carbone. Si le marché SEQE est correctement représenté dans le modèle, cela implique une hausse du prix sur ce marché, hausse qui sera répercutée dans les prix des industriels concernés et qui tendra à déprimer leurs ventes toutes choses égales par ailleurs. Dans Bellora et Fontagné (2023), le prix des quotas augmente. En l'absence d'une représentation du marché SEQE (comme dans Korpar *et al.*, 2022), cela amène à des fuites de carbone inversées : les émissions augmentent en Europe dans les secteurs protégés. S'ajoute à cela le fait que la suppression des allocations gratuites s'analyse comme la disparition d'une subvention à la production, ce qui devrait faire baisser la demande de quotas et donc leur prix. L'effet net sur le prix des quotas dépend *in fine* de l'ampleur de la subvention et de la protection qui la remplace, ainsi que de l'élasticité d'Armington comme discuté plus haut.

2.4. Réaction des exportateurs

Il est souvent noté qu'un ajustement carbone à la frontière fondé sur les émissions des firmes (et non sur des valeurs de référence) pourrait avoir deux effets opposés. Il pourrait inciter les firmes étrangères à adopter des processus de production moins émissifs afin de réduire leur taxation à la frontière, ce qui diminuerait les émissions mondiales. Mais les firmes pourraient aussi réagir en spécialisant des installations existantes plus propres pour servir le marché européen, ce qui réduirait la tarification du carbone auquel leurs exportations feraient face sans changer leurs émissions. Ce *reshuffling* limiterait l'efficacité du MACF. Ces deux mécanismes sont absents de tous les modèles utilisés jusqu'ici pour simuler un MACF. Pour que le MACF influence les décisions des producteurs étrangers, il faudrait faire l'hypothèse que les exportateurs sont en mesure de scinder leur production en deux : une production à destination des pays couverts par le MACF et une production pour le reste du monde. Seule la production exposée au MACF se ferait en prenant en compte le prix du carbone européen, ce qui affecterait le mix d'intrants et donc les émissions. Pour l'instant, les productions sont représentées sur la base de l'hypothèse de firme représentative. Il n'y a donc aucune prise en compte de l'hétérogénéité des sites de production d'une même firme ou au sein d'un même secteur.

2.5. Agrégation géographique

De la même façon que l'agrégation des firmes au sein des secteurs ne permet pas de prendre en compte le *reshuffling*, l'agrégation géographique est un sujet méritant attention. En présence d'un coût du carbone, le modèle va allouer de façon optimale les productions au sein de la région imposant ce prix, en fonction des coûts d'abattement. Le modèle ne considère donc que le coût d'abattement moyen de la région. Si maintenant l'on désagrège la région et que les pays la constituant ont des coûts d'abattement, ou des contenus carbone, très différents, le modèle va réallouer l'activité au sein de la région, mais entre les pays la constituant. La France ayant par exemple un contenu carbone de l'électricité bas, grâce au nucléaire, par rapport à l'Allemagne, les productions intensives en énergie électrique vont se déplacer vers la France. La région UE pourra atteindre le même objectif de décarbonation de façon plus efficace, pour un prix (endogène) du carbone moins élevé. Le MACF, en renforçant l'attractivité des productions de la région UE par rapport aux importations en provenance des pays tiers, renforcera ce mécanisme.

On s'attend donc à ce qu'un modèle isolant la France du reste de l'UE montre un bénéfice en termes d'activité pour la France (ou une moindre perte par rapport au scénario agrégé) compte tenu de son mix électrique moins carboné. La comparaison des résultats de Mirage et ThreeME l'a illustré. Toutefois, isoler seulement la France n'est pas correct car il faudrait idéalement prendre en compte le détail des vingt-sept pays ; mais ne pas isoler la France fait manquer le mécanisme de réallocation face à chacun des vingt-six autres pays pris individuellement. L'obstacle est ici d'ordre numérique, la désagrégation géographique étant limitée par le nombre d'équations à résoudre ainsi que par les différences de taille des pays, les pays de petite taille posant des difficultés supplémentaires. Il y a là un agenda de recherche.



CHAPITRE 5

LA QUESTION DE L'ACCÈS AUX RESSOURCES

Deux questions liées à la macroéconomie de la transition dans un cadre international posent des difficultés ardues : la mobilisation des ressources financières et l'accès aux matières premières. Nous passons en revue ces sujets dans ce dernier chapitre.

1. Les ressources financières

Les questions de financement de la transition énergétique se posent en des termes différents en économie ouverte, l'Union économique et monétaire ajoutant un étage supplémentaire dans le cas d'un pays comme la France ne disposant pas de l'outil de la politique monétaire. Doit-on s'appuyer sur l'épargne nationale ou sur l'épargne étrangère pour assurer ce financement ? Comment le déplacement des industries et des sources d'approvisionnement en matières premières va-t-il modifier les balances commerciales des différents pays ? Comment les « métaux-dollars », par analogie avec les pétrodollars issus des chocs pétroliers, vont-ils être recyclés ? Au cœur des réponses se trouve l'évolution du compte courant de chacun des pays.

Au niveau international, le financement de la transition climatique dans les prochaines décennies dépend étroitement des perspectives de croissance des pays et de leur dynamique d'investissement. Les trajectoires du compte courant, et donc de mobilisation d'épargne étrangère, dépendent de multiples déterminants de la croissance à moyen et long terme : la démographie, l'éducation, la diffusion du progrès technique, les coûts de l'énergie, les comportements d'investissement et d'épargne, et la mobilité internationale des capitaux. Ragot et Pinois (2023) montrent que les évolutions à venir de comptes courants devraient permettre d'avoir des taux d'intérêt réel bas de façon durable, autorisant le financement par l'épargne extérieure d'une partie de la transition énergétique.

Ces perspectives de croissance et dynamiques d'investissement des différents pays peuvent être représentées dans le cadre simplifié d'une économie mondiale à trois facteurs de production : capital, travail et énergie. Le modèle de croissance de long terme MaGE (Fouré

et al., 2013¹), reposant sur l'hypothèse de convergence conditionnelle (Barro et Sala-i Martin, 2004²), permet ainsi de projeter les trajectoires du PIB et de ses composantes pour 170 pays (Fontagné et al., 2022³). Le modèle prend en compte la population active par genre, cohorte et niveau d'éducation et deux productivités globales, à savoir la productivité totale des facteurs et l'efficacité énergétique. Les relations économiques entre les différentes variables sont estimées économétriquement et projetées, ce qui permet d'obtenir pour chaque pays et à chaque date le PIB et ses composantes, notamment l'évolution de l'épargne⁴, des investissements et du compte courant de chaque pays, et ceci jusqu'en 2050. Le solde de la balance courante de chaque pays est la différence entre l'épargne et les investissements et la somme des balances courantes au niveau mondial est nulle à chaque date. Sous l'hypothèse forte que les déterminants du solde courant (démographie, comportements d'épargne, etc.) et la mobilité internationale des capitaux ne seront pas affectés par la transition climatique, l'évolution du PIB pour chaque pays ou région du monde peut être imposée à un modèle d'équilibre général calculable (EGC ou CGE - *Computable general equilibrium*) sectoriel et global. La force de rappel, en cas de choc exogène comme la taxation du carbone ou un mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF) est alors la variation du taux de change réel du pays imposant cette politique et de ses partenaires commerciaux. Le modèle Mirage, dont on a discuté plus haut les résultats pour le MACF, fonctionne selon cette logique. D'autres bouclages sont possibles, aucun d'entre eux ne s'imposant *a priori* dans le cadre d'une étude de la transition énergétique.

Les modèles multisectoriels globaux ne laissent pas de place à la question de l'accompagnement par la politique budgétaire ou la politique monétaire de la transition énergétique ayant potentiellement des effets redistributifs et des effets inflationnistes (la « greenflation »)⁵. Un premier pas dans la compréhension des mécanismes impliqués peut être fait en considérant une politique climatique se limitant à la mise en place d'une taxe carbone. Une réponse possible de la politique budgétaire consiste à redistribuer les recettes de la taxation carbone sous forme de transferts vers les ménages, afin de préserver le signal-prix (l'augmentation du prix relatif des produits bruns) tout en préservant le pouvoir d'achat et en permettant les dépenses d'ajustement nécessaires (comme l'isolation des bâtiments). La redistribution aux entreprises sous forme d'aides à l'investissement en décarbonation suit

¹ Fouré J., Bénassy-Quéré A. et Fontagné L. (2013), « [Modelling the world economy at the 2050 horizon](#) », *Economics of Transition*, vol. 21(4), août, p. 617-654.

² Barro R. J. et Sala-i-Martin X. I. (2004), *Economic Growth*, Cambridge (Massachusetts), The MIT Press.

³ Fontagné L., Perego E. et Santoni G. (2022), « [MaGE 3.1: Long-term macroeconomic projections of the World economy](#) », *International Economics*, vol. 172, décembre, p. 168-189.

⁴ L'épargne est déterminée à chaque date par la structure par âge de la population (et l'écart de richesse par rapport au pays leader) suivant ainsi l'hypothèse usuelle dite du « cycle de vie ». L'investissement évolue au cours du temps en fonction de l'épargne domestique et de la mobilité internationale des capitaux, dans l'esprit de la relation Feldstein-Horioka : la mobilité internationale des capitaux affaiblit la relation entre épargne et investissement domestiques.

⁵ Voir la section 2 *infra* sur la disponibilité des ressources naturelles et le rapport thématique [Inflation](#).

la même logique. S'agissant de la politique monétaire, la réponse peut être ajustée ou non pour tenir compte d'effets transitoirement inflationnistes de la transition énergétique, ce qui aura des effets potentiellement différenciés entre pays au sein d'une union monétaire et au sein de chaque pays entre ménages. Sans modifier sa cible de long terme, une banque centrale peut accepter un surcroît temporaire d'inflation induit par la transition énergétique sans remettre en cause la stabilité des prix à moyen terme ou l'ancrage des anticipations d'inflation (Schnabel, 2022¹). Au final, la taxe carbone, utilisée ici comme exemple d'instrument de transition énergétique, risque à court terme de réduire la croissance économique, d'accroître l'inflation et de creuser les inégalités. Cet impact macroéconomique, tel que modélisé avec CepreHANK (Encadré 6), est de nature à freiner l'acceptabilité sociale de la taxe. Une politique monétaire temporairement plus accommodante pourrait atténuer cet impact (certes au prix d'un surcroît temporaire d'inflation), tout en préservant l'objectif environnemental de la taxe, et pourrait donc faciliter la mise en place de l'indispensable transition énergétique ainsi stylisée (Langot *et al.*, 2023²). Les effets de long terme de cet écart temporaire à la cible d'inflation sont nuls car il est supposé que la crédibilité de l'ancrage d'inflation de la BCE n'est pas entamée par ce délai d'ajustement temporaire des taux à l'inflation.

Encadré 6 – Le modèle CepreHANK

Le modèle à agents hétérogènes CepreHANK a été utilisé pour simuler la mise en place d'une taxe carbone avec et sans accompagnement monétaire, la situation de référence étant le projet de loi de finances voté en 2022 intégrant l'arrêt du bouclier tarifaire au quatrième trimestre 2023. L'augmentation de la taxe carbone portant sur les produits fossiles achetés par les ménages et les entreprises (deux points de pourcentage en 2024 puis un point supplémentaire par an jusqu'à 2027) réduit l'activité économique et crée une pression inflationniste.

Si la BCE relevait son taux d'intérêt nominal en réponse au surcroît d'inflation, cela amplifierait la contraction de l'activité économique. La boucle prix-salaires n'étant pas amorcée, le salaire réel horaire serait réduit et la chute du pouvoir d'achat conduirait à une hausse des inégalités de consommation. Les ménages les moins favorisés sont en effet les plus pénalisés, compte tenu de leur plus grande exposition à la contrainte d'un niveau de consommation énergétique incompressible.

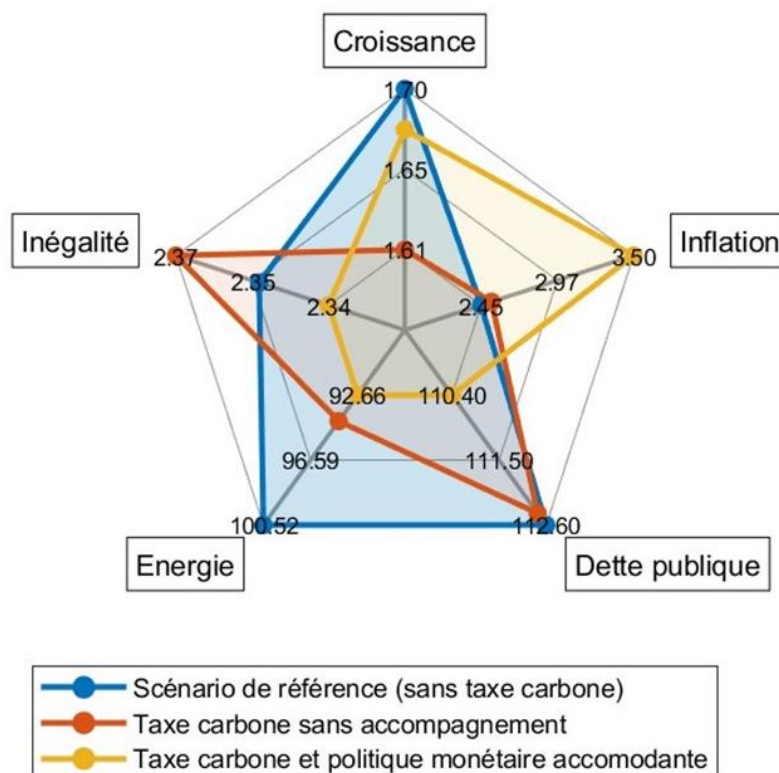
Si la BCE adoptait une règle de politique monétaire moins réactive à l'inflation, le surcroît d'activité économique induit par la stimulation de la consommation

¹ Schnabel I. (2022), « [Looking through higher energy prices? Monetary policy and the green transition](#) », *International Monetary Review*, vol. 9(2), avril, p. 39-45.

² Langot F., Malmberg S., Tripier F. et Hairault J.-O. (2023), « [Taxe carbone : quelles politiques macroéconomiques pour favoriser son acceptabilité ?](#) », *Note de l'Observatoire Macro*, n° 2023-1, février.

permettrait de rejoindre la trajectoire de croissance sans taxe carbone, mais au prix d'une inflation plus élevée. Ce soutien à l'économie n'entraverait pas l'objectif environnemental de la taxe carbone : la consommation d'énergie diminuerait plus que lorsque la politique monétaire n'est pas accommodante, car la baisse du salaire réel (la boucle prix-salaires prévoit une sous-indexation des salaires) substituerait le travail à l'énergie. Les inégalités de consommation induites par la taxe carbone disparaîtraient, les gains d'emploi soutenant les revenus des plus modestes et les baisses des taux d'intérêt réels réduisant ceux des plus aisés. Les résultats quantitatifs sont résumés dans la figure 1.

Figure 1 – Impacts macroéconomiques d'une taxe carbone avec et sans politique monétaire accommodante entre 2024 et 2027



Note :

- Croissance : taux de croissance annuels moyens entre 2024 et 2027 ;
- Inflation : inflation annuelle moyenne entre 2024 et 2027 ;
- Dette publique : dette publique mesurée par le ratio dette sur PIB moyen sur la période 2024 et 2027 ;
- Énergie : consommation moyenne de produits bruns entre 2024 et 2027 (base 100 en 2023-T4) ;
- Inégalités : ratio de consommation du dernier sur le premier décile de revenu en moyenne sur 2024 et 2027.

Source : simulation avec CephreHANK

2. Les ressources naturelles

La transition énergétique pose la question de l'accès aux ressources naturelles. Comme les énergies fossiles lors de la révolution industrielle précédente, les matières premières nécessaires pour la transition énergétique sont concentrées dans quelques régions du monde. La déglobalisation n'est donc pas envisageable, et l'accès aux ressources pose des problèmes géopolitiques nouveaux¹. Le problème est d'abord quantitatif parce que les technologies à déployer nécessitent davantage de minerais, en particulier de métaux, que leurs contreparties carbonées.

Les grands métaux

Qu'il s'agisse des voitures électriques en comparaison de leurs équivalents thermiques, ou de la production d'énergie par des sources décarbonées, les besoins en matières minérales devraient être augmentés d'un facteur qui se situe le plus souvent entre trois et neuf, d'après les estimations les plus courantes. Le caractère plus diffus et pour partie non pilotable des ENR et l'électrification des usages nécessitent en outre une importante densification du réseau, qui sera donc davantage consommatrice de cuivre et d'aluminium. Côté qualitatif, l'électromobilité nécessite des métaux comme le lithium ou le graphite, qu'on ne trouve pas dans les véhicules thermiques. Les collecteurs d'ENR sont également consommateurs dans des proportions significatives de minerais variés, y compris en terres rares (surtout pour l'éolien), silicone (pour le solaire) ou manganèse (pour l'éolien). Enfin, la consommation en métaux de la filière nucléaire² est un marché très spécifique car la sécurité des centrales exige des approvisionnements constants en matériaux de qualité dite « nucléaire », pour lesquels peu d'alternatives sûres existent pour l'instant (Laboué *et al.*, 2022³).

¹ Les cinq plus gros producteurs représentent 98,7 % de la production mondiale dans le cas du lithium et plus de 60 % dans celui du cuivre. La Chine réalise près de 90 % du raffinage des terres rares et monopolise celui des terres rares lourdes. Pour le nickel et le cobalt, elle concentre 70 % des capacités mondiales de raffinage. Pour quantifier les risques associés à cette concentration géographique, des indicateurs de criticité intégrant généralement une ou plusieurs considérations géopolitiques ont été proposés (Miller *et al.*, 2023).

² Notamment en zirconium, niobium, tantale, indium, hafnium, cadmium et carbure de bore.

³ Laboué P., Meyer T. et Amsellem D. (2022), *Les matières premières critiques de l'industrie nucléaire*, Paris, Observatoire de la sécurité des flux et des matières énergétiques, rapport n° 11, mars.

La demande

Le caractère inédit de la transition écologique rend cette prospective de la demande particulièrement délicate. Trois études font aujourd'hui référence pour la demande au niveau mondial (AIE, 2021), européen (Joint Research Center, 2020¹) et français (Ademe, 2021²). Si les hypothèses et les conclusions de ces études diffèrent, toutes convergent vers une hausse de la demande globale en métaux. L'AIE prévoit qu'un scénario compatible avec l'Accord de Paris impliquerait un quadruplement des ressources minérales dévolues au déploiement des énergies propres d'ici 2040, voire une multiplication par six dans la perspective d'émissions nettes nulles en 2050. Mais les incertitudes sont telles que, par exemple, la demande de cobalt pourrait selon les scénarios être multipliée par un facteur allant de 6 à 30. Le développement des véhicules électriques jouerait un rôle majeur dans ces évolutions, multipliant les besoins mondiaux à l'horizon 2040 par 40 pour le lithium, par 25 pour le graphite, et par 20 environ pour le cobalt et le nickel, dans ce scénario central (AIE, 2021³). Les besoins en cuivre seraient quant à eux doublés mais, partant d'un niveau de consommation initialement beaucoup plus élevé, cela nécessiterait selon d'autres évaluations l'extraction de près de 90 % des ressources connues (Seck *et al.*, 2020⁴).

Les prix

De tels chocs de demande posent la question de la réponse de l'offre. Une pénurie ne semble cependant pas se profiler à court terme, et c'est plutôt une très forte augmentation des prix dans un contexte de « pénurie relative » (*soft scarcity*) qui est à craindre (Sverdrup *et al.*, 2019⁵). De fait, si les réserves totales utilisables sont très importantes dans la plupart des cas, le développement de l'extraction obligera à utiliser des ressources moins accessibles et/ou de moindre qualité (car moins concentrées), ce qui augmentera leur coût. Un scénario « Net Zéro » pourrait ainsi augmenter de plusieurs centaines de pourcents d'ici 2040 les prix du lithium, du cobalt, du nickel et du cuivre par

¹ Joint Research Center (2020), *Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU. A Foresight Study*, septembre.

² Ademe (2021), *Transition(s) 2050. Choisir maintenant, agir pour le climat*, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, rapport.

³ AIE (2021), *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, Paris, Agence internationale de l'énergie, p. 8.

⁴ Seck G. S., Hache E., Bonnet C., Simoën M. et Carcanague S. (2020), « *Copper at the crossroads: Assessment of the interactions between low-carbon energy transition and supply limitations* », *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 163, décembre.

⁵ Sverdrup H. U., Olafsdottir A. H. et Vala Ragnarsdottir K. (2019), « *On the long-term sustainability of copper, zinc and lead supply, using a system dynamics model* », *Resources, Conservation and Recycling: X*, vol. 4, décembre.

rapport à leurs niveaux de 2020 (Boer *et al.*, 2021¹). L'extraction de ces métaux pourrait alors engendrer des rentes similaires à celles du secteur pétrolier au cours des vingt prochaines années. Dans la même logique, la moindre consommation d'énergies fossiles devrait orienter leurs prix à la baisse. L'ampleur de cet effet, hétérogène selon les sources d'énergie, est cependant très difficile à estimer : au-delà de l'incertitude de la demande, l'offre dépendra des investissements, qui seront conditionnés par la rentabilité future (elle-même fonction des perspectives de demande, des coûts d'extraction et de la structure de marché).

Les sources d'incertitude

Les incertitudes qui entourent les perspectives de demande et plus encore de prix sont nombreuses et proviennent tant de l'offre que de la demande. En raison du temps relativement long nécessaire au développement de nouveaux projets miniers (Boer *et al.*, 2021), l'offre mondiale pourrait être contrainte par des goulots d'étranglement, ces contraintes risquant en outre d'être exacerbées par des mesures non coopératives (restrictions aux exportations, instrumentalisation, etc.). À plus long terme, cette rigidité laisserait la place à d'autres problématiques : les activités minières s'accompagnent en effet généralement d'impacts environnementaux significatifs et nécessitent de surcroît d'importantes quantités d'eau douce, qui pourrait être amenée à manquer dans beaucoup de régions à l'avenir du fait des impacts physiques du réchauffement climatique (Rüttinger *et al.*, 2020²). Les problèmes sociaux liés, dans les pays en développement, aux conditions de travail ou, dans les pays développés les phénomènes sociétaux de type *not in my backyard* (NIMBY), s'ajouteront aux difficultés. Le progrès technique pourrait potentiellement atténuer ces problèmes, mais les perspectives dans ce domaine restent très incertaines.

¹ Boer L., Pescatori A. et Stuermer M. (2021), « [Energy transition metals](#) », Fonds monétaire international, IMF Working Paper n° 2021/243, octobre.

² Rüttinger L., van Ackern P., Lepold T., Vogt R. et Auberger A. (2020), [Impacts of Climate Change on Mining, Related Environmental Risks and Raw Material Supply](#), rapport final, German Environment Agency, juin.



CONCLUSION

Le climat est un bien commun posant un problème d'action collective. La communauté internationale a échoué à négocier des règles juridiquement contraignantes d'abattement des émissions. L'Accord de Paris, en vertu duquel les pays signataires fixent leurs propres niveaux d'ambition en matière d'atténuation du changement climatique et décident des moyens pour y parvenir, est la réponse à cet échec. La diversité des engagements en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre et des instruments mobilisés pour y parvenir crée au niveau international les conditions de l'existence de fuites de carbone et de distorsions de concurrence. Ce contexte conditionne les effets économiques attendus des politiques climatiques adoptées au niveau européen et français. Sa prise en compte est par conséquent une condition nécessaire à une bonne évaluation de ces politiques.

La tarification du carbone n'est qu'une modalité parmi d'autres d'action en faveur du climat, et elle peut prendre différentes formes, comme un marché *cap-and-trade* ou une taxe carbone. Même si tous les pays avaient une telle tarification, ce qui n'est pas le cas, les prix du carbone diffèreraient sur les différents marchés nationaux pour de multiples raisons : différences de préférence pour le présent, responsabilités différenciées, niveaux de vie, etc. Il y aurait alors nécessairement des fuites de carbone et des déplacements d'activités au niveau international. En l'absence de taxation du carbone à la consommation pour l'ensemble des produits, les fuites peuvent être limitées par plusieurs instruments, comme des allocations gratuites de quotas d'émission ou un ajustement carbone aux frontières pour les industries les plus exposées.

L'UE a fait le choix de remplacer les allocations gratuites par le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF), en ciblant un nombre limité d'industries situées en amont des chaînes de valeur. D'après la littérature économique sur le sujet et les simulations réalisées dans le cadre de ce travail, un ajustement carbone aux frontières atteindrait son objectif environnemental tout en nuisant à la compétitivité du pays le mettant en place. Dans le cas européen, ces mécanismes sont rendus plus complexes en raison de la substitution de la compensation carbone à l'allocation gratuite de quota : les exportateurs européens de produits relevant du marché européen de quotas d'émission (SEQUE) perdent les quotas gratuits sans pour autant bénéficier de la protection offerte par le MACF. Les impacts économiques diffèrent selon les modalités retenues pour calibrer le MACF, mais les simulations conduites dans ce rapport suggèrent des impacts concordants. Le MACF permet de réduire significativement les fuites de carbone et il peut inciter le reste du monde à réduire

ses émissions si les possibilités de *reshuffling* y sont limitées. Il se substitue à l'allocation gratuite de quota pour protéger les producteurs européens de produits couverts par le SEQUE de la concurrence étrangère ; mais parce qu'il augmente le coût des consommations intermédiaires carbonées, européennes ou importées, il réduit la compétitivité des produits en aval des chaînes de valeur, sur le marché européen comme à l'exportation. Si pour des niveaux de contrainte faibles, le MACF permet de limiter l'impact économique de la suppression des quotas gratuits, pour des niveaux élevés d'ambition climatique impliquant une forte hausse du prix des quotas il nuit à la compétitivité européenne, ce qui entraîne des pertes macroéconomiques pouvant dépasser un point de PIB par rapport à une situation de référence sans MACF mais avec maintien des allocations gratuites.

Les alternatives ou compléments à la tarification du carbone à la frontière sont les réglementations et subventions. Les subventions – ou crédits d'impôt – pour l'achat ou la production de produits décarbonés sont plus acceptables que le prix du carbone : le coût de la décarbonation est caché, ou en tout cas réparti plus largement au niveau de la société. Mais ces subventions génèrent des distorsions de concurrence entre producteurs localisés dans des pays subventionnant ou non la décarbonation. Ensuite, les subventions ont un coût budgétaire pour les États, à la différence d'une fiscalité du carbone qui génère une recette. De ce fait, l'utilisation de subventions pourrait être plus importante pour les pays ayant un espace fiscal plus important dans la zone euro, contribuant à accroître des divergences en termes d'incitation à la décarbonation et de compétitivité. Dans un environnement fiscal contraint, il semble plus légitime d'utiliser l'argent public pour réaliser les investissements publics nécessaires à la transition énergétique. Cependant, le recours massif et exclusif aux subventions ou crédits d'impôt dans d'autres zones, notamment aux États-Unis avec l'*Inflation Reduction Act* (IRA), devrait conduire à donner plus de place qu'actuellement aux subventions dans la palette des outils utiles à la transition énergétique en Europe, au-delà de l'horizon 2025 du dispositif actuel, donnant une liberté de manœuvre aux États membres davantage pour soutenir l'investissement privé dans les secteurs stratégiques de la transition énergétique¹.

Cette diversité d'instruments a deux conséquences. D'une part, il est difficile de trouver une métrique commune des efforts de décarbonation consentis par les différents pays, ce qui constitue un problème dans la perspective d'établir les contributions effectives de chacun. D'autre part, les stratégies de décarbonation différenciées, en particulier si elles sont polarisées, ajoutent au coût inévitable de la décarbonation la montée des tensions commerciales et les risques de délocalisation d'activité, comme l'illustrent les relations transatlantiques à la suite de la concomitance du MACF et de l'IRA. Cela rend d'autant plus nécessaire une coordination internationale des politiques climatiques pour favoriser une transition « ordonnée » de nos économies et limiter les coûts liés à ces fragmentations et tensions.

¹ Dans le cadre du « Temporary Crisis and Transition Framework for State Aid measures », les projets devront être déposés avant le 31 décembre 2025. Voir Commission européenne (2023), « [Aides d'État : la Commission adopte l'encadrement temporaire de crise et de transition afin de continuer à soutenir la transition vers une économie à zéro émission nette](#) », communiqué de presse, 9 mars.



BIBLIOGRAPHIE

- Ademe (2021), *Transition(s) 2050. Choisir maintenant, agir pour le climat*, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, rapport.
- Afionis S., Sakai M., Scott K., Barrett J. et Gouldson A. (2017), « [Consumption-based carbon accounting: does it have a future?](#) », *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, vol. 8(1), janvier-février, e438.
- AIE (2021), *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, Paris, Agence internationale de l'énergie.
- Aldy J. E. et Pizer W. A. (2016), « Alternative metrics for comparing domestic climate change mitigation efforts and the emerging international climate policy architecture », *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 10(1), hiver, p. 3-24.
- Australian Productivity Commission (2011), *Carbon Emission Policies in Key Economies*, rapport de recherche, mai.
- Barro R. J. et Sala-i-Martin X. I. (2004), *Economic Growth*, Cambridge (Massachusetts), The MIT Press.
- Bartram S. M., Hou K. et Sehoon K. (2022), « [Real effects of climate policy: Financial constraints and spillovers](#) », *Journal of Financial Economics*, vol. 143(2), février, p. 668-696.
- Bellora C. et Fontagné L. (2023), *EU in Search of a Carbon Border Adjustment Mechanism. Energy Economics*, à paraître.
- Ben-David I., Jang Y., Kleimeier S. et Viehs M. (2021), « [Exporting pollution: where do multinational firms emit CO₂?](#) », *Economic Policy*, vol. 36(107), juillet, p. 377-437.
- Bénassy-Quéré A., Fontagné L. et Lahrèche-Révil A. (2005), « [How does FDI react to corporate taxation?](#) », *International Tax and Public Finance*, vol. 12(5), septembre, p. 583-603.
- Black S., Minnett D. N., Parry I. W. H., Roaf J. et Zhunussova K. (2022), « [A framework for comparing climate mitigation policies across countries](#) », Fonds monétaire international, IMF Working Paper n° 2022/254, décembre.
- Boer L., Pescatori A. et Stuermer M. (2021), « [Energy transition metals](#) », Fonds monétaire international, IMF Working Paper n° 2021/243, octobre.

- Boeters S. et Bollen J. C. (2012), « Fossil fuel supply, leakage and the effectiveness of border measures in climate policy », *Energy Economics*, vol. 34, décembre, p. S181-S189.
- Böhringer C., Fischer C., Rosendahl K. E. et Rutherford T. F. (2022), « Potential impacts and challenges of border carbon adjustments », *Nature Climate Change*, vol. 12, janvier, p. 22-29.
- Böhringer C., Fischer C. et Rosendahl K. E. (2014), « [Cost-effective unilateral climate policy design: Size matters](#) », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 67(3), mai, p. 318-339.
- Branger F. et Quirion P. (2014), « [Would border carbon adjustments prevent carbon leakage and heavy industry competitiveness losses? Insights from a meta-analysis of recent economic studies](#) », *Ecological Economics*, vol. 99, mars, p. 29-39.
- Burniaux J.-M. et Oliveira Martins J. (2012), « Carbon leakages: A general equilibrium view », *Economic Theory*, vol. 49(2), p. 473-495.
- Carbone J. C. et Rivers N. (2017), « The impacts of unilateral climate policy on competitiveness: evidence from computable general equilibrium models », *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 11(1), janvier, p. 24-42.
- Carhart M., Litterman B., Munnings C. et Vitali O. (2022), « [Measuring comprehensive carbon prices of national climate policies](#) », *Climate Policy*, vol. 22(2), janvier, p. 198-207.
- Chateau J., Jaumotte F. et Schwerhoff G. (2022), « [Climate policy options: A comparison of economic performance](#) », IMF Working Paper n° 2022-242, décembre.
- Commission européenne (2021), [Impact Assessment Report Accompanying the Document « Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council Establishing a Carbon Border Adjustment Mechanism »](#), juillet.
- Costinot A. et Rodríguez-Clare A. (2014), « Trade Theory with Numbers: Quantifying the Consequences of Globalization », in Helpman E., Rogoff K. et Gopinath G. (dir.), *Handbook of International Economics*, Amsterdam, Elsevier, p. 197-261.
- Cour des comptes européenne (2020), [Le système d'échange de quotas d'émission de l'UE. L'allocation de quotas à titre gratuit devrait être mieux ciblée](#), rapport spécial 18/2020, septembre.
- Dechezleprêtre A., Nachtigall D. et Venmans F. (2023), « [The joint impact of the European Union emissions trading system on carbon emissions and economic performance](#) », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 118, mars.
- Dolphin G., Pollitt M. G. et Newbery D. M. (2020), « The political economy of carbon pricing: A panel analysis », *Oxford Economic Papers*, vol. 72(2), avril, p. 472-500.
- Droege S. (2011), « Using border measures to address carbon flows », *Climate Policy*, vol. 11(5), p. 1191-1201.

- Eskeland G. S. et Harrison A. E. (2003), « [Moving to greener pastures? Multinationals and the pollution haven hypothesis](#) », *Journal of Development Economics*, Elsevier, vol. 70(1), février, p. 1-23.
- Fontagné L., Perego E. et Santoni G. (2022), « [MaGE 3.1: Long-term macroeconomic projections of the World economy](#) », *International Economics*, vol. 172, décembre, p. 168-189.
- Fontagné L. et Schubert K. (2023), « The economics of BCA: Rationale and impacts of compensating carbon at the border », *Annual Review of Economics*, à paraître.
- Fouré J., Bénassy-Quéré A. et Fontagné L. (2013), « [Modelling the world economy at the 2050 horizon](#) », *Economics of Transition*, vol. 21(4), août, p. 617-654.
- Garcia-Lembergman E., Ramondo N., Shapiro J. S. et Rodriguez-Clare A. (2022), « The Carbon Footprint of Multinational Production », *International Environmental Economics*, janvier.
- Garnadt N., Grimm V. et Reuter W. H. (2021), « [Carbon adjustment mechanisms: Empirics, design and caveats](#) », *SSRN Electronic Journal*, décembre.
- Giec (2015), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, cinquième rapport, contribution du troisième groupe de travail.
- Head K., Mayer T. et Melitz M. (2023), « [The unintended consequences of high regional content requirements](#) », CEPII Working Paper, n° 2023-06, mars.
- Hoel M. (1994), « [Efficient climate policy in the presence of free riders](#) », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 27(3), novembre, p. 259-274.
- Joint Research Center (2020), *Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU. A Foresight Study*, septembre.
- Korpar N., Larch M. et Stöllinger R. (2022), « [The European carbon border adjustment mechanism: A small step in the right direction](#) », *International Economics and Economic Policy*, vol. 20(1), décembre, p. 95-138.
- Laboué P., Meyer T. et Amsellem D. (2022), *Les matières premières critiques de l'industrie nucléaire*, Paris, Observatoire de la sécurité des flux et des matières énergétiques, rapport n° 11, mars.
- Langot F., Malmberg S., Tripier F. et Hairault J.-O. (2023), « [Taxe carbone : quelles politiques macroéconomiques pour favoriser son acceptabilité ?](#) », *Note de l'Observatoire Macro*, n° 2023-1, février.
- Levinson A. et Taylor M. S. (2008), « [Unmasking the pollution haven effect](#) », *International Economic Review*, vol. 49(1), février, p. 223-254.
- Marcantonini C. et Ellerman A. D. (2013), « [The cost of abating CO2 emissions by renewable energy incentives in Germany](#) », MIT CEEPR Working Paper 2013-05, février.

- Mathiesen L. et Mæstad O. (2004), « Climate policy and the steel industry: Achieving global emission reductions by an incomplete climate agreement », *The Energy Journal*, vol. 25(4), p. 91-114.
- McKibbin W. J., Morris A. C. et Wilcoxon P. J. (2011), « Comparing climate commitments: a model-based analysis of the Copenhagen Accord », *Climate Change Economics*, vol. 2(2), p. 79-103.
- Miller H., Dikau S., Svartzman R. et Dees S. (2023), *The stumbling block in « the race of our lives »: Transition-critical materials, financial risks and the NGFS Climate Scenarios*, Londres, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment / Centre for Climate Change Economics and Policy, janvier.
- Misch F. et Wingender P. (2021), « [Revisiting carbon leakage](#) », Fonds monétaire international, IMF Working Paper n° 2021/107, août.
- Mörsdorf G. (2021), « [A simple fix for carbon leakage? Assessing the environmental effectiveness of the EU carbon border adjustment](#) », IFO Working Papers, n° 350, IFO Institute-Leibniz Institute for Economic Research at the University of Munich, avril.
- Naegele H. et Zaklan A. (2019), « [Does the EU ETS cause carbon leakage in European manufacturing?](#) », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 93, janvier, p. 125-147.
- Nakano J. (2022), *IRA and the EV Tax Credits. Can We Kill Multiple Birds with One Stone?*, Center for Strategic and International Studies.
- Nordhaus W. (2020), « The Climate Club: How to fix a failing global effort », *Foreign Affairs*, mai-juin.
- Nordhaus W. (2015), « [Climate clubs: Overcoming free-riding in international climate policy](#) », *American Economic Review*, vol. 105(4), avril, p. 1339-1370.
- OCDE (2020), *Climate Policy Leadership in an Interconnected World. What Role for Border Carbon Adjustments?*, Paris, Éditions de l'OCDE.
- OCDE (2018), *Effective Carbon Rates 2018. Pricing Carbon Emissions Through Taxes and Emissions Trading*, Paris, Éditions de l'OCDE.
- OCDE (2015), « Local content requirements in the solar- and wind-energy global value chains », in *Overcoming Barriers to International Investment in Clean Energy*, Paris, Éditions de l'OCDE, p. 47-87.
- OCDE (2013), *Effective Carbon Prices*, Paris, Éditions de l'OCDE.
- Parry I., Black S. et Roaf J. (2021), « [Proposal for an international carbon price floor among large emitters](#) », Fonds monétaire international, IMF Staff Climate Notes 2021/001.
- Pauwelyn J. et Kleimann D. (2020), « [Trade related aspects of a carbon border adjustment mechanism. A legal assessment](#) », briefing pour la Commission du commerce international, avril.

- Pyrka M., Boratyński J., Tobiasz I., Jeszke R. et Sekuła M. (2020), *The Effects of the Implementation of the Border Tax Adjustment in the Context of More Stringent EU Climate Policy Until 2030*, Center for Climate and Energy Analyses, septembre.
- Quirion P. et Demailly D. (2008), « [Leakage from climate policies and border tax adjustment: lessons from a geographic model of the cement industry](#) », in Guesnerie R. et Tulkens H. (dir.), *The Design of Climate Policy*, The MIT Press, Cambridge, p. 333-358.
- Ragot X. et Pinois R. (2023), « [Public debt and the world financial market](#) », *Revue de l'OFCE*, vol. 164, décembre, p. 165-189.
- Rüttinger L., van Ackern P., Lepold T., Vogt R. et Auberger A. (2020), *Impacts of Climate Change on Mining, Related Environmental Risks and Raw Material Supply*, rapport final, German Environment Agency, juin.
- Sato M., Neuhoﬀ K., Graichen V., Schumacher K. et Matthes F. (2014), « Sectors under scrutiny: Evaluation of indicators to assess the risk of carbon leakage in the UK and Germany », *Environmental and Resource Economics*, vol. 60(1), janvier, p. 99-124.
- Saussay A. et Sato M. (2018), « [The impacts of energy prices on industrial foreign investment location: Evidence from global firm level data](#) », Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, Working Paper n° 311, décembre.
- Schnabel I. (2022), « [Looking through higher energy prices? Monetary policy and the green transition](#) », *International Monetary Review*, vol. 9(2), avril, p. 39-45.
- Schubert K., Pommeret A. et Ricci F. (2023), « [Confronting the carbon pricing gap: Second best climate policy](#) », Paris School of Economics, Working Paper n° 2023-13, avril.
- Seck G. S., Hache E., Bonnet C., Simoën M. et Carcanague S. (2020), « [Copper at the crossroads: Assessment of the interactions between low-carbon energy transition and supply limitations](#) », *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 163, décembre.
- Stiglitz J. E. (2006), « [A new agenda for global warming](#) », *The Economists' Voice*, vol. 3(7), juillet, p. 1-4.
- Sverdrup H. U., Olafsdottir A. H. et Vala Ragnarsdottir K. (2019), « [On the long-term sustainability of copper, zinc and lead supply, using a system dynamics model](#) », *Resources, Conservation and Recycling: X*, vol. 4, décembre.
- Venmans F., Ellis J., et Nachtigall D. (2020), « [Carbon pricing and competitiveness: are they at odds?](#) », *Climate Policy*, vol. 20(9), p. 1070-1091.
- Wang M. et Zhou P. (2017), « [Does emission permit allocation affect CO2 cost pass-through? A theoretical analysis](#) », *Energy Economics*, vol. 66, août, p. 140-46.



Directeur de la publication

Gilles de Margerie, commissaire général

Directeur de la rédaction

Cédric Audenis, commissaire général adjoint

Secrétaire de rédaction

Gladys Caré

Contact presse

Matthias Le Fur, directeur du service Édition/Communication/Événements

01 42 75 61 37, matthias.lefur@strategie.gouv.fr

RETROUVEZ LES DERNIÈRES ACTUALITÉS
DE FRANCE STRATÉGIE SUR :



www.strategie.gouv.fr



[@strategie_Gouv](https://twitter.com/strategie_Gouv)



[france-strategie](https://www.linkedin.com/company/france-strategie)



[francestrategie](https://www.facebook.com/francestrategie)



[@FranceStrategie_](https://www.instagram.com/FranceStrategie_)



[StrategieGouv](https://www.youtube.com/StrategieGouv)

Les opinions exprimées dans ce rapport engagent leurs auteurs et n'ont pas vocation à refléter la position du gouvernement



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



FRANCE STRATÉGIE
ÉVALUER. ANTICIPER. DÉBATTRE. PROPOSER.

Institution autonome placée auprès de la Première ministre, France Stratégie contribue à l'action publique par ses analyses et ses propositions. Elle anime le débat public et éclaire les choix collectifs sur les enjeux sociaux, économiques et environnementaux. Elle produit également des évaluations de politiques publiques à la demande du gouvernement. Les résultats de ses travaux s'adressent aux pouvoirs publics, à la société civile et aux citoyens.