

Le marché du carbone européen aura bientôt vingt ans : quelles leçons en tirer ?

Marc Baudry*

@ 74946

Mots-clés : *décarbonation, marché du carbone, surallocation, fuites de carbones*

Le marché du carbone européen (EU-ETS) a connu de nombreuses péripéties depuis son lancement il y a maintenant presque vingt ans. Il a fait et fait encore l'objet de critiques quant à sa capacité à envoyer aux entreprises régulées un signal prix crédible en faveur de leur décarbonation. L'article revient sur ces critiques à la lumière de quelques clés de lecture. Sont notamment abordées la question de la surallocation de quotas et celle des fuites de carbone. L'analyse suggère que les difficultés rencontrées par l'EU-ETS ne sont pas rédhibitoires mais peuvent être surpassées moyennant des réformes de l'instrument, comme cela s'est déjà fait au long des deux dernières décennies.

Introduction

C'est en 2005 que le système d'échange de quotas d'émissions de l'Union européenne (SEQE-UE) a commencé à fonctionner dans sa phase pilote. Plus connu sous son acronyme officiel en anglais EU-ETS (*European Union – Emission Trading System*) ou dans le langage commun comme le « marché du carbone » européen, il a traversé sur ces deux dernières décennies pas mal de déboires et subi nombre de critiques. Dès sa phase pilote (2005-2007), la chute du prix spot du prix des quotas à presque zéro a conduit à pointer du doigt un problème de surallocation de ces quotas. La seconde phase de l'EU-ETS (2008-2012) a été perturbée par la crise financière concomitante et n'a guère plus convaincu. La troisième phase (2013-2020) a ainsi hérité d'un lourd passif de critiques et d'un procès en inefficacité à générer un signal prix convaincant pour décarboner l'économie européenne. Il a fallu 2018 et l'annonce d'une réforme relativement structurelle

à travers la *Market Stability Reserve* pour que l'EU-ETS regagne en crédibilité. Cette crédibilité a été renforcée avec l'annonce en 2019 du *Green Deal* par la nouvelle présidente de la Commission européenne Ursula von der Leyen, ce programme de transition bas carbone au sein duquel l'EU-ETS a un rôle central. L'EU-ETS a alors pu entamer sa phase 4 (2021-2030) sous de relativement bons auspices, ayant traversé presque sans perturbation la pandémie de Covid. Le prix de la tonne de carbone a même presque atteint la centaine d'euros en février 2023, sans être à première vue affecté par le choc de l'invasion russe en Ukraine. Toutefois, le fort ralentissement de l'économie européenne qui a fini par faire suite à ce choc impacte aujourd'hui l'EU-ETS où le prix des quotas a chuté de presque moitié en un an.

Ces observations mettent en lumière un double paradoxe récurrent de l'EU-ETS. Le premier paradoxe est que, bien qu'il soit supposé fixer un plafond sans cesse plus faible aux émissions de gaz à effet de serre, il ne cesse d'être pointé du doigt comme n'induisant pas de réelle décarbonation

* Université Paris Nanterre, EconomiX (UMR 7235) & Chaire Économie du Climat.

de l'économie. Le second paradoxe est que là où certains y voient une défaillance de l'instrument, les économistes ne manquent pas d'arguments pour souligner que tout est cohérent avec le principe d'un système d'échanges de quotas destiné à allouer un budget carbone. Cet article a pour but d'apporter un éclairage sur ce double paradoxe. Une première section fournit quelques clés de lecture essentielles avant d'aborder deux facteurs importants contribuant au procès pour défaut de décarbonation intenté à l'EU-ETS. Chronologiquement, le premier facteur est celui d'une surallocation de quotas, le second celui des fuites de carbone. Ils sont présentés et analysés respectivement dans la seconde section et la troisième section. À chaque fois, des implications en termes de potentielles réformes de la politique climatique de l'Union européenne sont évoquées.

1. Quelques clés de lecture

Pour une bonne compréhension des débats sur l'EU-ETS, il est utile de se donner quelques clés de lecture entre lesquelles existe en outre une certaine hiérarchie. La première clé est que le réchauffement climatique conduit à raisonner selon une logique de budget carbone. La seconde clé est que l'EU-ETS a été mis en place dans un contexte où il était attendu qu'un marché international de quotas carbone émerge, qui finalement n'a pas vu le jour. La troisième clé est que l'approche par le concept de budget carbone sous-tend une flexibilité temporelle et donc induit de la part des acteurs régulés des arbitrages intertemporels accordant un rôle central aux anticipations et à la volatilité implicite.

1.1. Une logique de budget carbone

Le réchauffement climatique résulte des émissions anthropiques de gaz à effet de serre cumulées à travers le temps. Ces gaz existent à l'état naturel dans l'atmosphère de la terre et sont même indispensables à la vie puisqu'ils retiennent une partie du rayonnement solaire et contribuent ainsi à maintenir une température propice au développement des organismes vivants. C'est cette capacité à retenir les rayons du soleil qui, par analogie, conduit à les qualifier de gaz à effet de

serre. Le dioxyde de carbone (CO_2) en est l'un des principaux mais pas le seul. Le méthane et les gaz fluorés en font également partie, parmi d'autres. Pour chacun de ces gaz, il est toutefois possible de les ramener à un équivalent CO_2 en calculant à quel volume de CO_2 la contribution à l'effet de serre d'un volume donné d'un de ces autres gaz est équivalente. On agrège ainsi l'ensemble des gaz à effet de serre en tonnes d'équivalent CO_2 (teq- CO_2). Comme le documente le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), c'est l'ajout depuis la révolution industrielle du milieu du XIX^{e} siècle d'émissions anthropiques de ces gaz qui amplifie l'effet de serre au risque d'induire des bouleversements dans le climat. La particularité de ces bouleversements est qu'ils n'obéissent pas à une règle de proportionnalité ni même à une relation « lisse » entre cause et effet. Au prix d'une schématisation extrême, on peut considérer qu'en deçà d'un certain niveau de réchauffement moyen, évalué entre +1,5 degré Celsius et +2 degrés Celsius, les effets du réchauffement sont faibles voire négligeables, mais qu'ils sont en revanche catastrophiques au-delà, prenant notamment la forme d'événements météorologiques extrêmes nettement plus fréquents et dévastateurs tels que sécheresses, inondations, ouragans et montée du niveau des mers, remettant en cause l'ensemble des équilibres physiques et biologiques sur la terre. Il est donc impératif de ne pas dépasser ce seuil de réchauffement et pour cela de ne pas dépasser le montant cumulé d'émissions anthropiques de gaz à effet de serre associé au niveau critique de réchauffement. Dans son rapport AR6 [IPCC, 2023, page 82, section 3.3.1], le GIEC estime que l'humanité ne peut pas se permettre d'émettre à partir de 2020 plus de 500 Gt CO_2 pour ne pas dépasser avec une probabilité de 50 % un réchauffement de +1,5 °C, et 1 150 Gt CO_2 pour ne pas dépasser un réchauffement de +2 °C avec une probabilité de 67 %, ce qui correspond à ce qu'on désigne comme le budget carbone restant. À titre de comparaison, les émissions nettes de gaz à effet de serre d'origine anthropique en 2019 sont évaluées à 59 Gt CO_2 (plus ou moins une marge d'erreur de 6,6 Gt CO_2) dans le même rapport du GIEC, en page 44, section 2.2.1. Certains scientifiques avancent même un budget carbone plus

limité compte tenu d'une actualisation à l'aide de données plus récentes [Lamboll et al., 2023]. Pour respecter ce budget, il faut parvenir à limiter en deçà les émissions anthropiques en les réduisant à la source ou en parvenant à capturer le carbone déjà émis. Les sources d'émissions anthropiques sont très diverses, par exemple les émissions de dioxyde de carbone par la combustion de carburants fossiles pour produire de l'électricité, pour se chauffer ou encore se déplacer, mais aussi les émissions de méthane dues à la fermentation entérique et aux déjections dans les élevages, les émissions de protoxyde d'azote par la fertilisation minérale des champs ou encore les émissions de gaz fluorés liées aux équipements de production de froid (réfrigération, climatisation), à la fabrication des mousses, équipements électriques et aux aérosols.

1.2. Une genèse chahutée

Le budget carbone dont dispose l'humanité est défini à l'échelle mondiale. Il convenait donc de mettre en place les instruments adéquats pour le respecter à un niveau international. C'est ce qui a été tenté à la suite du sommet de la terre de Rio de Janeiro en 1992. C'est également dans cet esprit que l'Union européenne (UE) s'est engagée dans une réflexion sur ce que pourrait être sa politique de lutte contre le réchauffement climatique. Comme le relate Convery [2009], l'idée initiale de l'UE était de mettre en place une taxe carbone pour les activités de production d'énergie les plus émettrices. Le projet s'est toutefois heurté à la réticence de certains États membres hostiles à la création d'une compétence fiscale de l'UE, dont ils craignaient qu'à terme elle conduise à la perte de leur souveraineté en matière fiscale. Parallèlement, dans le cadre des négociations internationales pour mettre en place un mécanisme de régulation mondial, les autorités européennes ont été confrontées à une divergence de point de vue avec les États-Unis. En effet, à partir des années 1980, ceux-ci ont cherché à réguler les émissions de dioxyde de soufre à l'origine non pas du réchauffement climatique, à l'époque peu discuté, mais des pluies acides. Dans ce cadre, les entreprises américaines ont pesé en faveur d'une régulation qui tout en jouant son rôle incitatif soit

le plus flexible possible et pèse financièrement le moins sur leurs résultats [Calel, 2013]. Ces deux critères ont conduit à mettre en place en 1996 le *Acid Rain Program*, historiquement le premier mécanisme de *cap and trade* pour réguler une pollution¹. Un tel mécanisme est une alternative à la taxation pigouvienne connue depuis les travaux précurseurs de Dales [1968] et Montgomery [1972]. Il consiste à rationner les émissions de chaque installation émettrice de polluant en lui fixant un quota individuel d'émissions (l'étape *cap*), mais à laisser ensuite ces installations s'échanger ces quotas de sorte que les réductions d'émissions se fassent là où elles sont les moins coûteuses (l'étape *trade*). Il n'y a donc aucun transfert financier vers le régulateur, uniquement des transferts entre installations régulées et qui plus est limités dans leur montant au niveau de réallocation des quotas entre installations. Le principe est qu'un échange de quotas d'une installation A vers une installation B est mutuellement avantageux tant que ce que coûte une unité de réduction (abattement marginal) pour A est inférieur à ce que cela coûte pour B. Autoriser l'échange de quotas permet ainsi de réduire le coût de la régulation pour les entités qui y sont soumises, c'est ce que Fankhauser et Hepburn [2010b] dénomment la flexibilité spatiale. L'équilibre de ce mécanisme d'échange est atteint quand, sous l'hypothèse que les coûts marginaux d'abattement sont croissants avec le niveau d'abattement, le coût marginal d'abattement atteint par chaque installation est identique. Ce niveau de coût marginal d'abattement caractérise le prix d'équilibre, ou prix spot, du marché des quotas. Forts de leur expérience tirée du *Acid Rain Program*, les États-Unis n'ont accepté, dans le protocole de Kyoto signé en 1997, l'idée d'un contingentement des émissions de gaz à effet de serre poussé par l'UE qu'à la condition qu'il se fasse selon le principe de *cap and trade* et non d'une taxation. Ce même accord prévoyait qu'un marché international des quotas d'émissions de gaz à effet de serre entre en vigueur en 2008. Chaque pays ratifiant les accords de Kyoto (pays dits « de l'annexe B ») se voyait attribuer des quotas au prorata de ses émissions de 1990. Pour s'y préparer, l'UE a mis en place un marché de quotas en interne dont la phase pilote, la phase 1 de l'EU-ETS, s'est déroulée de 2005 à

2007, et la seconde phase qui devait se faire en parallèle avec le marché international a débuté en 2008 et s'est terminée en 2012. Mais le Sénat américain a finalement refusé de ratifier les accords de Kyoto, laissant *de facto* les États membres de l'UE presque seuls demandeurs de quotas internationaux (les *Assigned Amount Units* – AAU) face aux pays issus de l'ancienne Union soviétique qui disposaient eux d'un excédent d'AAU du fait de la chute de leurs industries lourdes durant la transition post-soviétique. Le marché international du carbone risquait donc de devenir un marché de dupes où l'UE aurait acheté des quotas aux anciens membres de l'Union soviétique sans que ceux-ci aient mis en place de politique de lutte contre l'effet de serre, problème couramment désigné sous le vocable anglais *hot air*. Pour l'éviter, l'UE n'a pas autorisé l'utilisation d'AAU extra-européennes pour se mettre en conformité sur l'EU-ETS et le marché international est en quelque sorte mort-né [Lokey-Aldrich et Koerner, 2012]. L'ironie du sort est que l'UE qui privilégiait à l'origine la taxation du carbone et souhaitait une régulation à l'échelle mondiale s'est retrouvée avec un marché du carbone à la seule échelle régionale. L'EU-ETS ne démarrait donc pas sous les meilleurs auspices.

1.3. Un rôle central des anticipations

En cohérence avec la logique de budget carbone, qu'importe que les émissions de gaz à effet de serre aient lieu aujourd'hui ou demain, dès lors que le cumul des émissions à travers le temps ne dépasse pas le seuil critique caractérisant ce budget carbone. Dit autrement, il est donc optimal de laisser aux entités régulées une flexibilité temporelle, comme la désignent Fankhauser et Hepburn [2010a], dans le choix du moment où les abattements d'émissions sont effectués. L'UE a respecté cette flexibilité lors de la mise en place de l'EU-ETS, autorisant notamment les entités régulées à utiliser le montant d'abattement en excès des quotas alloués une année pour se mettre en conformité sur l'une ou l'autre des années suivantes. Une telle flexibilité temporelle conduit les entités régulées à fonder leurs décisions d'abattement et plus généralement d'investissement dans des solutions technologiques

décarbonées sur la base de leurs anticipations quant au prix du marché du carbone dans le futur, quant à leur niveau d'activité futur et donc le niveau d'émissions qu'elles atteindraient en l'absence de régulation (leurs émissions contre-factuelles ou en anglais leurs émissions *baseline*), mais aussi quant à l'évolution de la régulation dans l'avenir. Les travaux de modélisation successifs de Rubin [1996], Cronshaw et Kruse [1996], Leiby et Rubin [2001] ont notamment mis en exergue le rôle crucial des anticipations dans la détermination du prix spot courant des quotas, la dynamique de ce prix étant pour sa part établie selon une règle similaire à la règle de Hotelling pour la dynamique du prix d'une ressource non renouvelable (voir [Gaudet, 2007]). Selon cette règle, le propriétaire d'une unité d'une ressource non renouvelable arbitre, en fonction de ce qui présente le rendement le plus élevé, entre maintenir cette unité *in situ* ou l'extraire pour investir dans d'autres actifs le produit de la vente. Pour qu'il y ait équilibre sur le marché des actifs, qui inclut la ressource comme actif naturel, le propriétaire de la ressource doit être indifférent entre les deux choix. Autrement dit, la valeur de la ressource *in situ* doit croître à un taux égal au rendement des autres actifs, souvent résumé par le taux d'intérêt certain. L'application de cette règle de croissance, à un taux égal au taux d'intérêt, au prix des quotas n'est pas surprenante dans la mesure où le budget carbone peut être interprété comme un stock non renouvelable dans lequel on «puise» en émettant chaque unité de gaz à effet de serre supplémentaire.

2. Pas assez de décarbonation du fait d'une surallocation de quotas?

La genèse de l'EU-ETS montre qu'il a été adopté par l'UE à défaut de pouvoir mettre en place une taxe carbone, ce qui ne le faisait pas démarrer sous de bons auspices. Sont venues se cumuler à cela des erreurs de jeunesse qui, malheureusement, ont eu un effet particulièrement durable et ont alimenté un discours sur l'inefficacité supposée de l'EU-ETS. Ce n'est qu'à partir de 2018 et l'annonce de réformes clés que l'EU-ETS a regagné en crédibilité, faisant monter le prix

Le marché du carbone européen aura bientôt vingt ans : quelles leçons en tirer ?

de la tonne de carbone à des niveaux nettement plus incitatifs.

2.1. Les phases 1 et 2 de l'EU-ETS

Dès sa phase pilote, ou phase 1 (2005 à 2007), l'EU-ETS s'est vu critiqué pour défaut d'incitation effective à décarboner, critiques qui ont largement perduré sur la phase 2 (2008 à 2012). Les raisons en sont plurielles [Koch et al., 2014]. L'une des principales résulte de ce que, comme il a été souligné parmi les clés de lecture, l'EU-ETS a transcrit à l'échelle européenne la logique de budget carbone. Mais si un tel budget a un sens à l'échelle mondiale, il est difficile de définir *a priori* comment il peut ou doit se répartir à une échelle régionale puisque cela est normalement le résultat de la flexibilité spatiale dans le cadre d'un marché international de quotas. À défaut d'un tel marché, l'UE a dû et doit encore aujourd'hui se fixer ses propres contraintes. En l'absence d'une comptabilité carbone bien établie au début des années 2000, elle s'est non seulement appuyée sur des estimations des émissions qui se sont révélées trop larges, mais a en outre délégué aux États membres la négociation avec leurs industriels de leurs propres objectifs quantitatifs, laissant la porte ouverte à une démarche

de moins-disant environnemental pour éviter de pénaliser les industries nationales. Très vite, il est apparu que les quantités de quotas alloués étaient supérieures aux émissions vérifiées.

La Figure 1 l'illustre en séparant les entités régulées en deux groupes, celui des «installations de combustion de carburants fossiles» qui recouvre *grosso modo* les centrales électriques fonctionnant à base d'énergie primaire fossile d'une part, celui des «autres installations stationnaires» qui recouvre des industries lourdes en amont des chaînes de valeur d'autre part². L'excès de quotas alloués par rapport aux émissions vérifiées apparaît clairement dans le second cas, un peu moins dans le premier notamment pour l'année 2007. Il n'en reste pas moins qu'au cours de la phase 1, sur l'ensemble des entités régulées par l'EU-ETS, un surplus de quotas non utilisés est apparu et que, cette phase ayant pour spécificité d'être une phase pilote dont les quotas n'étaient pas transférables aux phases suivantes (flexibilité temporelle intraphase mais pas interphases), le prix spot a chuté à zéro euro par teq-CO_2 . La Figure 2 met en lumière ces deux points. Y sont reportés sous forme d'histogrammes le solde annuel et le solde cumulé des quotas alloués en excès des émissions vérifiées, et sous forme

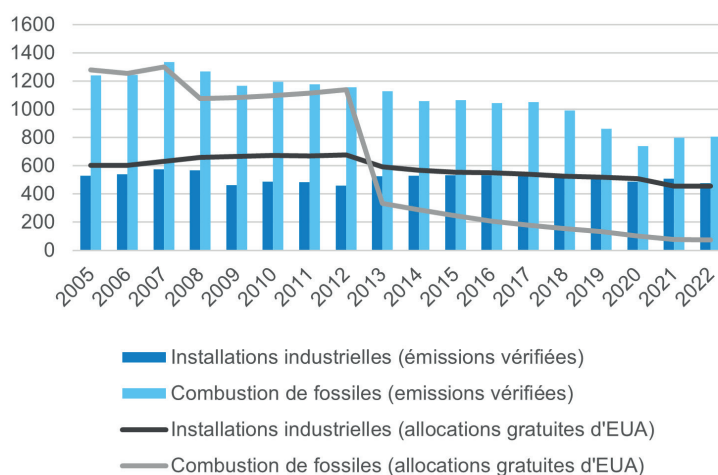


Figure 1. Évolution des émissions vérifiées et des allocations gratuites de quotas (en millions de teq-CO_2)

Source : European Environment Agency (retravaillé par l'auteur),
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/emissions-trading-viewer-1>

de courbe le prix spot moyen annuel des quotas (en anglais, les *European Union Allowances* – EUA)³. Pour la phase 2, la quantité de quotas allouée annuellement a été réduite de l'ordre de 6,5 % par rapport à 2005. Si le secteur des installations de combustion de fuels fossiles n'exhibe plus un excès de quotas alloués par rapport aux émissions vérifiées, l'excès s'est en revanche nettement accru pour les autres installations stationnaires (Figure 1). C'est ainsi que le solde annuel et le solde cumulé des quotas alloués mais non utilisés pour couvrir les émissions vérifiées ont fortement augmenté tout au long de la phase 2. La Figure 1 montre en outre que les émissions vérifiées hors secteur électrique ont même baissé durant cette phase. C'est en fait une conséquence de la crise économique qui a fait suite en Europe à la crise financière des *subprimes* aux États-Unis.

Il faut toutefois prendre garde de ne pas surinterpréter les Figures 1 et 2. En effet, les émissions vérifiées sont celles qui résultent de la régulation. Le niveau d'abattement des émissions est donné par l'écart entre les émissions contrefactuelles et ces émissions vérifiées, mais les émissions contrefactuelles pas plus que le niveau d'abattement ne sont directement observables. Pour évaluer la décarbonation induite par l'EU-ETS, il faut donc

réussir à estimer les émissions contrefactuelles qui auraient prévalu en l'absence de la régulation par l'EU-ETS. Différentes stratégies ont été retenues pour y parvenir. Une première, mise en œuvre par Ellerman et Buchner [2008] puis améliorée par Anderson et Di Maria [2011], consiste à modéliser et estimer la relation entre les émissions et leurs principaux déterminants avant mise en place de l'EU-ETS, puis à extrapoler à partir des résultats d'estimation et de l'observation des déterminants après mise en place de l'EU-ETS les émissions contrefactuelles. Elle a conduit à confirmer que sur les phases 1 et 2 le niveau d'abattement a été faible. Cette méthode perd néanmoins en efficacité au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la date de mise en place de l'EU-ETS. Une méthode alternative consiste à exploiter le fait que seules sont régulées les installations dont les capacités ou le niveau d'émissions dépassent un critère prédéfini. Il est donc possible de trouver des entreprises, y compris de grande taille, disposant d'installations en deçà des critères pour ne pas être régulées par l'EU-ETS et servir d'élément de comparaison pour évaluer l'impact de l'EU-ETS sur le niveau des émissions des firmes régulées. C'est cette approche qui est retenue par exemple dans le récent article de Dechezleprêtre et al. [2023] qui conclut que l'EU-ETS aurait induit un

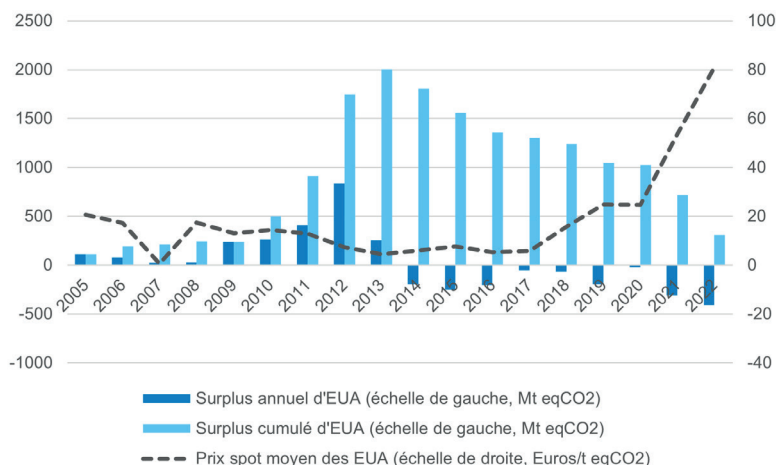


Figure 2. Surplus annuel, surplus cumulé et prix spot des EUA

Source : European Environment Agency et International Carbon Action Partnership (retravaillé par l'auteur), <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/emissions-trading-viewer-1>, <https://icapcarbonaction.com/fr/node/839>

Le marché du carbone européen aura bientôt vingt ans : quelles leçons en tirer ?

abattement des émissions de l'ordre de 10 % entre 2005 (mise en place de l'EU-ETS) et 2012 (fin de la phase 2). La relative faiblesse des abattements tels qu'évalués par ces méthodes suggère que la baisse des émissions vérifiées observée selon la Figure 1 durant la phase 2 est au moins en partie imputable à une baisse des émissions contrefactuelles suite à la crise économique.

L'effet dépressif sur le prix, qui n'a cessé de décroître tout au long de la phase 2 comme le montre la Figure 2, a été renforcé par une hausse de l'offre effective de quotas. La Figure 3 apporte des éclaircissements sur cette hausse *a priori* surprenante en distinguant les volumes des différents types de quotas à la disposition des firmes régulées, hors secteur de l'aviation, pour se mettre en conformité. On y voit notamment apparaître durant la phase 2, en plus des volumes de quotas alloués gratuitement et d'un petit volume mis aux enchères, des *Certified Emissions Reductions* (CER) et des *Emissions Reduction Units* (ERU). Cette offre supplémentaire de quotas résulte du principe de responsabilité commune mais différenciée mis en avant par les accords de Kyoto. Plus précisément, les accords introduisaient une

distinction entre pays de l'annexe 1, les pays développés responsables historiquement des émissions cumulées et qui de ce fait devaient être assujettis au marché international du carbone, et pays hors annexe 1, les pays moins développés ayant peu contribué historiquement aux émissions et qui de ce fait ne devaient pas être concernés par le marché international du carbone. Bien que ne soumettant pas aux mêmes obligations les pays hors annexe 1, les accords prévoyaient néanmoins de les inciter à ne pas contribuer au réchauffement climatique. Dans ce but, deux mécanismes de flexibilité ont été mis en place. Le premier est le *Clean Development Mechanism* (CDM) qui permettait d'émettre des certificats échangeables (les CER) sur les marchés de quotas pour des émissions évitées grâce à la réalisation d'investissements bas carbone qui n'auraient pas vu le jour sans le supplément de revenu associé à la revente des CER. Des CER résultant de la construction de fermes éoliennes en Chine ont notamment été utilisés par des entreprises européennes afin de se mettre en conformité sur l'EU-ETS. Le second mécanisme de flexibilité est la *Joint Implementation* (JI), un mécanisme similaire dans l'esprit au CDM mais

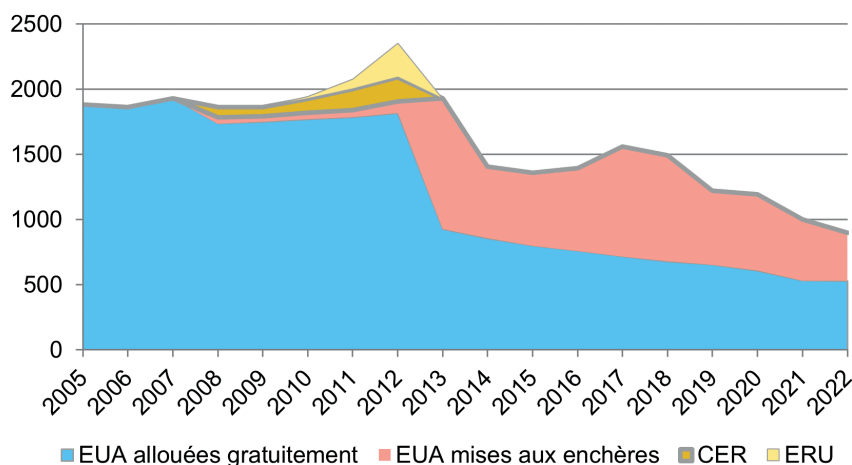


Figure 3. Évolution des types de quotas utilisés, hors secteur de l'aviation, pour se mettre en conformité (en millions de teq-CO₂)

Source : European Environment Agency (retravaillé par l'auteur),
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/emissions-trading-viewer-1>

dévolu au financement de projets bas carbone dans un pays de l'annexe 1 par des firmes couvertes par un marché du carbone d'un autre pays de l'annexe 1. Les certificats associés sont les ERU. Comme l'indique la Figure 3, réunis, les CER et ERU utilisés par les installations stationnaires pour se mettre en conformité sur l'EU-ETS ont représenté jusqu'à plus d'un cinquième des quotas alloués gratuitement et par enchères. Ils ont donc contribué à fortement perturber le contrôle de l'offre sur l'EU-ETS et par suite la dynamique du prix du carbone, conduisant l'UE à bannir l'usage de CER ou ERU nouvellement émis à partir de la phase 3 de l'EU-ETS (2013-2020).

2.2. La phase 3 et le début de phase 4 de l'EU-ETS

La Figure 2 met également en lumière un effet de la flexibilité temporelle introduite dans l'EU-ETS. Bien que, comme le montre la Figure 3, à partir de la phase 3 l'allocation des quotas par enchères a été fortement développée au détriment de l'allocation à titre gratuit (les allocations gratuites restantes et la définition de leur montant ayant en outre été centralisées au niveau européen) et que le volume de quotas mis en circulation chaque année a été inférieur aux émissions vérifiées, les surplus de quotas cumulés lors de la phase 2 n'ont été que très lentement résorbés tout au long de la phase 3. Il en a résulté un prix structurellement très bas par défaut de rareté des quotas. Pour y remédier, la Commission européenne a tout d'abord mis en place un système de report partiel des volumes de quotas qu'il était prévu initialement de mettre aux enchères en 2014, 2015 et 2016. Cette mesure, visible sur la Figure 3 et connue sous le nom de *backloading*, ne conduit toutefois pas à une modification des anticipations quant à l'offre totale de quotas intertemporelle. Elle se limite en effet à «déplacer» à travers le temps une partie de l'offre sans créer sur le long terme une raréfaction des quotas. Conformément à ce que suggère la modélisation dynamique d'un ETS avec flexibilité temporelle, cela n'a pas eu d'impact significatif sur le prix. En remplacement du *backloading*, la Commission européenne a annoncé la mise en place de la *Market Stability Reserve* (MSR) qui a été opérationnelle en

janvier 2019. Les quotas non mis aux enchères de 2014 à 2016 du fait de la mesure de *backloading* ont été transférés à la MSR plutôt que mis aux enchères en 2019 et 2020 comme prévu initialement. Ainsi que son nom l'indique, l'objectif initial de la MSR était de limiter les fluctuations de prix. Elle comprend pour cela un premier mécanisme basé sur un plancher et un plafond du nombre total de quotas en circulation (*Total Number of Allowances in Circulation* – TNAC). Lorsque le TNAC passe en deçà du plancher, des quotas sont retirés de la MSR et mis aux enchères en supplément des enchères normalement programmées. Inversement, quand le TNAC dépasse le plafond, un volume prédéfini de quotas qui devaient être mis aux enchères est plutôt placé dans la MSR⁴. Sur le long terme, ce premier mécanisme ne crée pas de rareté des quotas mais est supposé stabiliser le prix par des ajustements automatiques et de court terme de l'offre. En revanche, un second mécanisme de la MSR stipule que si le volume de quotas placés dans la MSR excède le volume mis aux enchères sur l'année précédente, l'excédent est définitivement retiré du marché⁵. Ce second mécanisme induit une baisse sur le long terme de l'offre de quotas et, comme attendu selon les analyses théoriques, a provoqué par anticipation d'une rareté accrue une remontée significative du prix de la tonne de carbone sur l'EU-ETS. Il est très intéressant de remarquer que la hausse du prix a eu lieu dès 2018, soit avant l'entrée en vigueur de la MSR et par le jeu des anticipations.

Ces différents épisodes mettent en exergue combien les anticipations à long terme jouent un rôle crucial dans la détermination du prix courant. On notera à ce sujet que, de février 2023 à février 2024, le prix a fortement chuté, d'un niveau avoisinant les 100 €/teq-CO₂ à près de la moitié. Les difficultés économiques de l'Union européenne, avec le ralentissement de l'activité notamment de l'industrie en Allemagne et la baisse des besoins en électricité qui l'accompagne, l'expliquent en partie. Mais il est également très probable que les acteurs du marché anticipent qu'à l'issue des élections européennes de juin 2024 la question climatique sera moins, voire plus du tout, l'axe central de la nouvelle Commission européenne, ou le sera plus à travers une politique industrielle qu'à

travers l'EU-ETS. Autrement dit, ils anticipent un relâchement de la contrainte sur l'offre de quotas à long terme. L'incertitude réglementaire vient ainsi s'ajouter à l'incertitude inhérente à tout marché. Or, un haut degré d'incertitude incite les firmes régulées à reporter leurs décisions d'investissement dans des technologies bas carbone. Il est donc fondamental d'asseoir la crédibilité de l'EU-ETS en créant ou renforçant un cadre institutionnel qui fasse prévaloir les objectifs de politique climatique de long terme sur des objectifs de court terme potentiellement contradictoires. Le caractère automatique des règles de fonctionnement de la MSR va dans ce sens. Certains économistes [Chiappinelli et Neuhoﬀ, 2020] argumentent également que les contrats carbone pour diﬀérence crédibilisent les engagements climatiques car ils induisent qu'il est de l'intérêt des pouvoirs publics que le prix de la tonne de carbone soit élevé. Mais il est également nécessaire de se laisser de la ﬂexibilité pour répondre de manière agile à des chocs de court terme non anticipés tout en gardant le cap sur les objectifs de long terme. Baudry et Dumont [2024] argumentent ainsi qu'une banque centrale du carbone pourrait répondre à un tel cahier des charges, notamment dans un contexte où les mises aux enchères de quotas deviennent la règle.

3. Des fuites de carbone à l'origine d'une décarbonation en trompe-l'œil ?

La remontée marquée du prix de la tonne de carbone sur l'EU-ETS à partir de 2018 n'a pas mis ﬁn aux critiques quant à la capacité de l'EU-ETS à induire une décarbonation de l'économie européenne. Elle en a plutôt changé la nature, les critiques mettant dorénavant l'accent sur la question de fuites de carbone et donc en ﬁligrane sur le caractère régional et non pas global de l'EU-ETS. Pour en comprendre tous les enjeux, il est plus particulièrement utile de considérer les fuites de carbone tout au long d'une chaîne de valeur plutôt que sur un maillon en particulier de ces chaînes. C'est notamment un élément important pour saisir les enjeux autour de l'ajustement carbone aux frontières. Au préalable, il convient toutefois de s'attarder sur le concept de *carbon cost pass through*.

3.1. Le *carbon cost pass through*

On peut déﬁnir le *carbon cost pass through* au sein d'une chaîne de valeur comme la capacité de chaque maillon de la chaîne à répercuter en aval, sur ses clients directs, le supplément de coût marginal de production résultant de l'application du prix de la tonne de carbone aux émissions directes et indirectes inhérentes à sa production.

La partie gauche de la Figure 4 détaille, pour un maillon de la chaîne de valeur, cette notion dans le contexte d'un marché en concurrence pure et parfaite où tous les oﬀreurs sont soumis à une même hausse de leur coût marginal, supposée pour simplifier égale au prix τ du carbone (une tonne de carbone émise par unité de produit). Ce contexte correspond à celui d'une économie fermée. L'équilibre avant tarification du carbone résulte en un prix p^* du produit dont on analyse le marché, et une quantité produite et échangée q^* . Les gains à l'échange des producteurs (leur profit) sont indiqués par la surface entourée en trait épais marron, ceux des clients (la diﬀérence entre la valeur qu'ils accordent à leur achat et ce qu'ils doivent payer pour cela) par la surface entourée en trait épais bleu. La tarification du carbone déplace la courbe d'oﬀre vers le haut d'un montant τ . Le nouvel équilibre conduit à une quantité produite et échangée q_{tarif} moindre, donc à une pollution moindre. Pour le nouveau prix, il convient de distinguer le prix p_{tarif}^{aval} payé par les clients en aval et associé à l'intersection entre la nouvelle oﬀre et la demande, et le prix p_{tarif}^{amont} reçu par les producteurs en amont, qui est celui de l'aval diminué du prix du carbone. L'écart entre le prix payé par les clients en aval une fois la tarification du carbone mise en place et le prix avant sa mise en place indique le niveau de *carbon cost pass through*. La surface hachurée en marron signale la perte de profit des producteurs, celle en bleu la perte de gain à l'échange des clients. À la Figure 4, il apparaît que l'essentiel de la perte, ou charge associée à la tarification du carbone, est subie par les clients en aval car la hausse du coût est répercutée pour l'essentiel en hausse du prix payé par les clients. Ce résultat n'est pas systématique et on sait selon la théorie de l'incidence ﬁscale qu'il dépend du rapport des

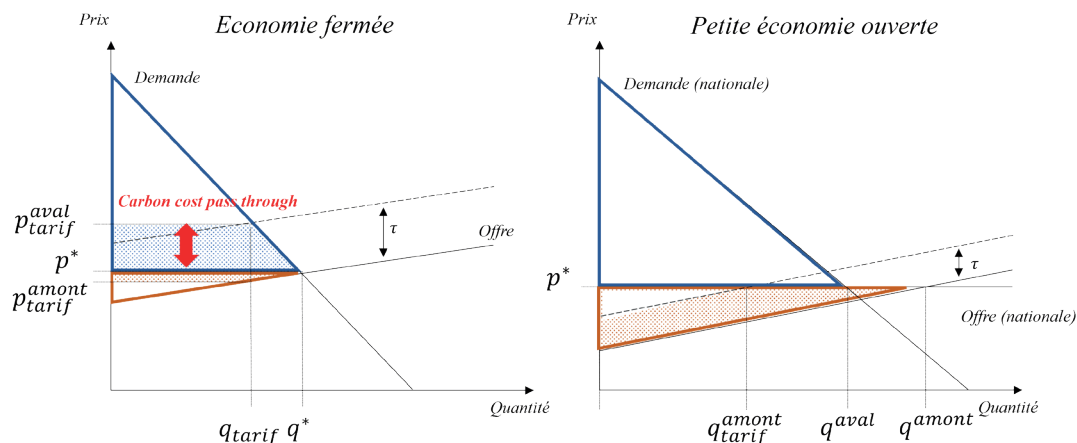


Figure 4. La notion de *carbon cost pass through*

élasticités prix de l'offre et de la demande. Le résultat dépend également de l'existence ou non d'un pouvoir de marché du côté de l'offre et, surtout, de la nature ouverte ou pas de l'économie au sein de laquelle prévaut le prix du carbone. En effet, la partie droite de la Figure 4 reprend le même raisonnement dans le contexte où l'économie au sein de laquelle est appliquée la tarification du carbone est une économie ouverte, qui plus est une «petite» économie au sens où les firmes nationales n'ont aucune influence sur le prix du bien qu'elles offrent qui est déterminé sur le marché mondial. Ce prix avant mise en place de la tarification du carbone à l'échelle nationale est toujours noté p^* , et il est insensible à ce qu'il se passe au sein de cette «petite» économie, ce qui est représenté par l'horizontale associée à p^* . En économie ouverte, l'offre nationale q^{amont} est déterminée indépendamment de la demande nationale q^{aval} , l'écart en quantité obtenu au prix p^* définissant les exportations (si l'offre excède la demande) ou les importations (si la demande excède l'offre). La mise en place de la tarification du carbone au sein de cette seule «petite» économie contracte son offre de q^{amont} à q_{tarif}^{amont} sans affecter sa demande q^{aval} . Il en résulte une dégradation du solde commercial pour le produit en question et une baisse du profit réalisé par les firmes nationales. En revanche, rien ne change pour l'aval qui bénéficie du même prix et ne

subit donc aucun *carbon cost pass through*. Dans le cas moins extrême d'une économie ouverte «pesant» sur le marché mondial, le *carbon cost pass through* ne s'annule pas mais est limité du fait de la concurrence internationale.

3.2. Les fuites de carbone le long d'une chaîne de valeur

On peut tenter de comprendre le débat sur les fuites de carbone, leurs conséquences et les moyens d'y remédier, en s'appuyant sur les Figures 5a et 5b. Ces deux figures s'intéressent à une chaîne de valeur où des centrales fonctionnant avec des énergies fossiles produisent de l'électricité pour des aciéristes qui émettent également par leur activité des gaz à effet de serre et fournissent des produits intermédiaires à une industrie, par exemple l'industrie automobile, qui fabrique des biens finals vendus aux consommateurs sans nécessairement émettre de nouvelles unités de carbone. Conformément à ce qui se passe pour l'EU-ETS, seuls les deux premiers maillons de cette chaîne sont couverts par le marché du carbone.

La Figure 5a présente le cas hypothétique où l'économie de l'UE fonctionnerait comme une économie fermée. Le *carbon cost pass through* y est représenté pour chaque maillon. La littérature

Le marché du carbone européen aura bientôt vingt ans : quelles leçons en tirer ?

académique souligne par exemple que le *carbon cost pass through* des électriciens est plutôt élevé (voir [Fabra et Reguant, 2014]), ce qui est cohérent avec l'idée généralement admise que la demande d'électricité est relativement peu élastique. Cela signifie que le signal prix du coût des émissions affecte peu les profits de ce maillon de la chaîne et est transmis plus en aval. C'est ce qui est illustré à la Figure 5a par le surcoût en bleu associé aux émissions directes du secteur électrique. Pour le secteur en aval, le secteur des aciéries à la Figure 5a, le coût des émissions indirectes liées à la consommation d'électricité va donc se cumuler avec celui des émissions directes des aciéries, indiqué en jaune. Si les aciéries n'ont pas la capacité à effectuer à leur tour du *carbon cost pass through*, le signal prix du carbone contenu dans l'acier ne sera pas transmis à l'industrie manufacturière en aval et l'essentiel de la charge de la tarification du carbone sera supporté par les aciéries. Si à l'inverse les aciéries sont à même de pratiquer du *carbon cost pass through*, le signal prix des émissions directes et indirectes des aciéries va se transmettre à l'industrie plus en aval qui pourtant n'est pas régulée. Le cas extrême, considéré à la Figure 5a, est celui où chaque maillon est à même de faire du *carbon cost pass through*. Le signal prix se transmet alors jusqu'au consommateur final qui subira l'essentiel de la charge de la tarification du carbone. Le *carbon*

cost pass through détermine donc comment se répartit la charge de la tarification du carbone au sein d'une chaîne de valeur indépendamment du maillon à l'origine des émissions. Cette répartition ne remet pas en cause le caractère incitatif de la tarification puisque, comme le fait apparaître le côté gauche de la Figure 4, le *carbon cost pass through* n'empêche pas la baisse de la production et donc des émissions. Il n'en va plus de même en économie ouverte.

La Figure 5b considère le cas plus réaliste où l'économie de l'UE est ouverte et chaque maillon de la chaîne de valeur est susceptible de subir la concurrence de firmes étrangères non soumises à l'EU-ETS. Cette concurrence peut s'exercer dès le premier maillon. De fait, les États membres de l'UE frontaliers de l'Ukraine ou de la Turquie importent de l'électricité très carbonée en provenance de ces deux pays. Plus en aval, la concurrence peut venir de pays géographiquement éloignés qui peuvent disposer de leur propre ETS mais avec un signal prix plus faible, comme la Corée du Sud. Cette concurrence limite, voire stoppe, la capacité des firmes européennes à pratiquer du *carbon cost pass through* conformément à ce qui a été discuté à l'aide de la Figure 4. Dorénavant, si elles le pratiquent, c'est au risque de perdre des parts de marché et des profits de manière encore plus pénalisante que si elles

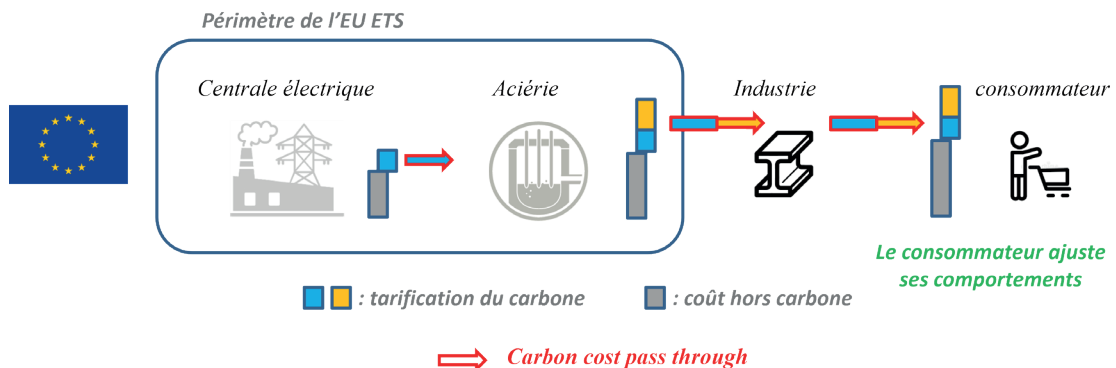


Figure 5a. L'absence de fuites de carbone dans une économie fermée

prenaient à leur charge le surcoût du carbone. Un cas extrême est présenté à la Figure 5b, celui où les offreurs européens pèsent trop peu sur le marché international du bien qu'ils produisent de sorte que le prix reste inchangé suite à la mise en place d'une tarification du carbone dont le seul effet est un report de la demande sur les producteurs étrangers, conformément au côté droit de la Figure 4. Les émissions vont donc baisser localement, mais augmenter à l'étranger, et tout va se passer comme si elles avaient été «déplacées» et non pas réduites. C'est le phénomène de fuites de carbone par perte de compétitivité. Si les firmes étrangères ont une intensité carbone significativement plus élevée que les firmes locales, l'effet net peut même être une hausse des émissions au niveau global. Afin d'éviter le surcoût de la tarification du carbone et maintenir leurs profits, les firmes régulées sont susceptibles d'opter pour la fermeture de leurs installations de production locales et l'investissement dans de nouvelles installations situées dans les pays étrangers non régulés. Les émissions de carbone se trouvent alors déplacées au sens propre, c'est le phénomène de fuites de carbone par délocalisation. Qu'elles soient dues à des pertes de parts de marché ou à des délocalisations, les fuites de carbone ont pour effet de rendre inefficent le signal prix envoyé par le marché de carbone. Elles n'exposent donc pas l'UE uniquement à

un problème de compétitivité de son économie européenne, mais aussi à un problème d'inefficacité de sa politique climatique.

En dépit de l'importance qu'elles ont prise dans le débat sur l'EU-ETS, la réalité des fuites de carbone est assez largement remise en cause par la littérature académique qui a cherché à en quantifier l'ampleur. Cameron et Baudry [2023] en proposent une synthèse. Il en ressort que les études empiriques réfutent les fuites de carbone par délocalisation. Il convient d'insister sur le fait que ce n'est pas l'existence de délocalisations d'industries sur les deux dernières décennies qui est réfutée, mais le fait que ces délocalisations auraient été induites par la tarification du carbone. Il est probable qu'elles sont imputables à d'autres causes, comme le coût de l'énergie ou le coût du travail. De même, Cludius et al. [2020], dans leur revue de littérature complétée par leur propre analyse économétrique, mettent en évidence que le *carbon cost pass through* est resté élevé de la part des industries couvertes par l'EU-ETS, ce qui n'aurait pas dû être le cas si ces industries avaient subi une forte concurrence de la part d'importations exemptes de tarification du carbone. La portée de ces différentes études empiriques est toutefois à prendre avec précaution dans la mesure où elles couvrent la phase 1 ou la phase 2 pour lesquelles le prix

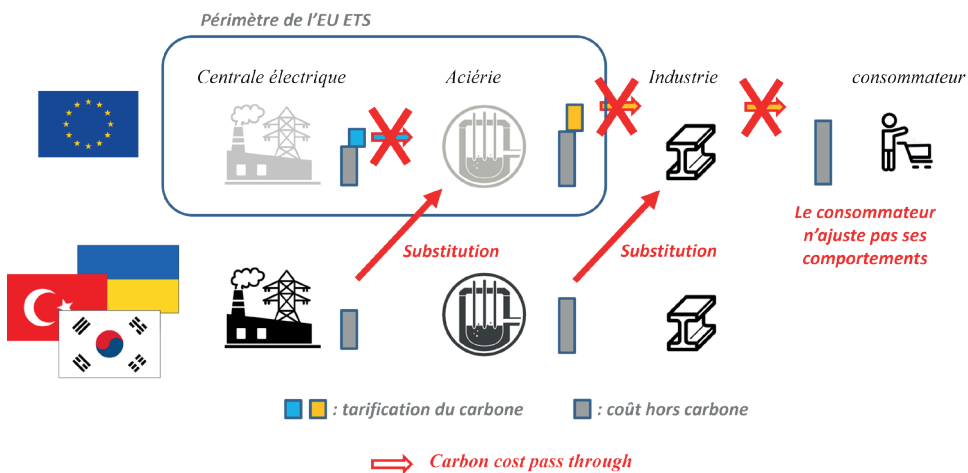


Figure 5b. Les fuites de carbone dans une économie ouverte

des quotas a été modéré voire historiquement bas et ont rarement porté sur la phase 3, tout au moins en incluant la fin de la phase 3 où le prix de la tonne de carbone sur l'EU-ETS a adopté une nette tendance haussière. Or, la question de la délocalisation se pose certainement avec plus d'acuité avec un prix à 80 €/teq-CO₂ qu'avec un prix à 8 €/teq-CO₂. Quoi qu'il en soit, il n'est pas non plus à exclure que l'ouverture au commerce extérieur caractéristique de l'UE ait amené les industriels européens à se spécialiser pour préserver leurs marges, privilégiant par exemple un positionnement sur le haut de gamme avec une élasticité prix de la demande relativement faible et donc favorable au *carbon cost pass through*. La question reste donc ouverte du point de vue de la recherche.

La crainte des fuites de carbone a tout au long des phases 1 et 2 été limitée par la faiblesse du prix du carbone commentée plus haut, mais aussi, au moins partiellement, par l'allocation gratuite des quotas. Cette dernière n'empêche pas les fuites de carbone par transfert de parts de marché. En effet, même avec une allocation gratuite des quotas il y a un coût à accroître ses émissions : il s'agit soit du prix à payer pour des quotas supplémentaires acquis sur le marché spot si l'entreprise a déjà utilisé tous les siens, soit du revenu auquel il faut renoncer en mobilisant des quotas que l'entreprise revendait initialement sur le marché secondaire. En revanche, l'allocation gratuite limite les fuites de carbone par relocalisation des installations car une entreprise ne doit payer que pour les émissions en excès des quotas reçus, alors qu'avec une allocation intégralement aux enchères elle doit payer dès la première unité d'émission. La charge financière étant plus faible avec des allocations gratuites, l'intérêt financier à délocaliser est amoindri. Il n'en reste pas moins que cet avantage atteint ses limites quand le prix de la tonne de CO₂ atteint des niveaux élevés. Or, selon la logique de budget carbone et la conséquence, mentionnée parmi nos clés de lecture, de l'application de la règle de Hotelling à la dynamique du prix des quotas, ce prix doit croître tendanciellement à un taux proche de celui du taux d'intérêt. Dès lors que, à partir de la fin de la phase 3 et suite à l'annonce de la MSR,

le marché s'est quelque peu apuré et le prix s'est mis sur une trajectoire croissante, la question des fuites de carbone a pris de l'importance. Ainsi, lors de l'annonce de son *Green Deal* par la nouvelle présidente de la Commission européenne en 2019, c'est avec l'argument de préserver une politique climatique ambitieuse qu'Ursula von der Leyen a mis en avant le projet de mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF, ou CBAM pour *Carbon Border Adjustment Mechanism* en anglais).

3.3. L'ajustement carbone aux frontières comme bouclier face aux fuites de carbone

Le principe d'un ajustement carbone aux frontières est de supprimer la distorsion de concurrence en faveur des produits importés pour les industries couvertes par le marché du carbone. Il consiste à faire payer pour le contenu carbone lié aux émissions directes et indirectes des importations. L'ajustement carbone aux frontières est donc supposé pallier l'absence de tarification du carbone généralisée et homogène au niveau international. Comme souligné plus loin, il ne dispense pas le pays ou groupe de pays qui le met en place de poursuivre les efforts en faveur d'une tarification du carbone à l'échelle mondiale, car il n'en constitue qu'un substitut imparfait.

En reprenant la Figure 5b, en présence d'un ajustement carbone aux frontières, l'électricité importée en substitution de l'électricité générée au sein de l'UE devra ainsi payer pour ses émissions directes. Cela limitera d'autant plus l'effet de substitution que cette électricité est souvent plus carbonée que celle produite en Europe. De même, l'acier importé devra payer non seulement pour ses émissions directes, mais aussi pour ses émissions indirectes associées à l'électricité utilisée pour le produire. Pour y parvenir, l'UE impose ses règles de compatibilité carbone et a prévu une période, d'octobre 2023 à fin 2025, où la seule obligation des importateurs est de se conformer à cette comptabilité et de déclarer leurs émissions ainsi calculées. Plus exactement, des règles par défaut s'appliquent, à charge pour un importateur considérant être moins intensif en carbone d'en apporter la preuve. Au-delà de cette période

transitoire, les importateurs devront payer un prix par teq-CO_2 qui sera ajusté chaque semaine sur la moyenne hebdomadaire du prix des EUA sur l'EU-ETS. Le signal prix est donc lié directement et de manière crédible à la politique climatique européenne et ne peut être instrumentalisé à des fins protectionnistes. Il faut souligner en outre qu'il s'agit bien d'un signal prix déterminé par un mécanisme de marché et non d'une taxe aux frontières. Souvent occultée dans les médias, cette subtilité rend le mécanisme compatible avec les règles de l'Organisation mondiale du commerce (OMC), d'autant que si une tarification du carbone existe dans le pays d'origine des importations, il ne faudra payer que pour la différence de prix entre les deux zones. Toutefois, comme c'est sur l'intégralité des émissions que portera l'ajustement aux frontières, il convenait de ne pas introduire une distorsion inversée et d'abandonner le mode d'allocation gratuite des quotas au sein de l'UE pour basculer vers une allocation aux enchères. Le CBAM a donc un effet ambivalent pour les industriels de l'EU des secteurs concernés, puisqu'il corrige l'effet de moins-disant environnemental sur les importations mais accroît la charge financière de la régulation. Cet accroissement peut être d'autant plus pénalisant qu'il n'est pas prévu de restitution aux exportations, incompatibles à la fois avec les règles de l'OMC et avec les objectifs environnementaux. En compensation, l'UE prévoit un recyclage des revenus tirés de la mise aux enchères et éventuellement du CBAM pour soutenir financièrement l'innovation bas carbone et aider les industries européennes à s'adapter.

Le CBAM n'est toutefois pas sans faille. L'un des principaux risques pointés du doigt est qu'il ne fasse que déplacer les fuites de carbone de l'amont des chaînes de valeur à l'aval. En effet, en revenant à la Figure 5b, on comprend que pour contourner l'ajustement carbone aux frontières il sera possible d'importer non pas de l'acier mais des produits fabriqués à base d'acier hors de l'UE. En effet, ces produits n'étant pas couverts par l'EU-ETS au sein de l'UE, leur importation n'est pas concernée par le CBAM. Pourtant, les fabricants européens de ces produits subiront eux le *carbon cost pass through* des secteurs amont

que le CBAM aura précisément permis de rétablir. Il est donc probable qu'il faudra compléter le CBAM en aval, soit en s'appuyant sur des estimations relativement complexes et incertaines du *carbon cost pass through* subi par les industries européennes en aval pour évaluer le prix du carbone à faire payer aux importations concurrentes, soit en appliquant des normes d'empreinte carbone maximale à respecter pour pouvoir commercialiser un produit au sein de l'UE. Comme pour une tarification, ces normes requièrent la mise en place d'une comptabilité carbone tout au long des chaînes de valeur. En revanche, elles ne nécessitent pas d'évaluer le *carbon cost pass through* et s'avèrent en ce sens plus simples à mettre en œuvre. De telles normes n'existent pas encore en Europe, mais un débat s'amorce à leur sujet. Ainsi, dans le nouveau règlement batteries mis en place par l'UE à l'été 2023 et qui impose une obligation d'affichage de l'empreinte carbone des batteries automobiles, avec en ligne de mire les batteries et véhicules électriques produits en Chine avec un mix énergétique nettement plus carboné qu'en Europe, il est explicitement mentionné qu'un simple affichage ne suffira pas... préparant la voie à ce que cet affichage serve de base à une certification pour pouvoir commercialiser le produit en Europe.

Conclusion

Les péripéties rencontrées par l'EU-ETS sur les deux dernières décennies ont pu faire planer un doute sur la capacité de cet instrument de politique climatique à envoyer un signal prix crédible en faveur de la décarbonation des entreprises régulées. Elles ont pu être surmontées en partie en réformant le marché, ce qui a conduit à un signal prix loin d'être négligeable. Si les problèmes générés par la surallocation ont pu être réglés, grâce notamment à la mise en place de la *Market Stability Reserve*, cela a paradoxalement fait resurgir une autre problématique qui est celle des fuites de carbone. Le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières qui a été lancé en octobre 2023 n'y répond que partiellement. À défaut de pouvoir étendre cet ajustement carbone dans sa forme actuelle aux produits en aval des chaînes de valeur, il conviendrait d'y adosser

un instrument complémentaire, par exemple une norme sur l'empreinte carbone. De même, la *Market Stability Reserve* a résolu la question de surabondance des quotas non utilisés mais elle ne peut pas à elle seule répondre au problème de l'incertitude réglementaire et à la volatilité du prix qui tendent à freiner les investissements bas carbone. Il serait donc opportun de procéder à des réformes renforçant la crédibilité des engagements de long terme de l'UE en faveur de l'action climatique. La mise en place d'une banque centrale du carbone en charge de réguler le marché à travers les mises aux enchères constitue une piste intéressante à explorer.

NOTES

1. Pour plus de détails sur ce programme, voire <https://www.epa.gov/acidrain/acid-rain-program>. L'EU-ETS n'est donc pas *stricto sensu* le premier marché de quotas d'émissions polluantes, mais le premier du genre consacré aux gaz à effet de serre, autrement dit le premier «marché du carbone».

2. À partir de la phase 2 vient s'ajouter le secteur du transport aérien pour les vols intra-européens. Les volumes de quotas et d'émissions restent faibles en comparaison des deux autres catégories d'entités et ne sont pas pris en compte à la Figure 1, mais le secteur aérien s'est également caractérisé par un excès de quotas alloués par rapport aux émissions vérifiées. En outre, les quotas alloués à ce secteur ne peuvent être revendus à des entités des autres secteurs tandis que l'inverse reste possible. Les quotas du secteur aérien ne sont donc pas fongibles avec le reste de l'EU-ETS.

3. Toutes les entités régulées, donc y compris le secteur aérien, sont prises en compte pour les Figures 2 et 3.

4. Lors de sa mise en place, le plafond supérieur était de 833 millions de quotas et le volume de quotas placé au sein de la MSR en cas de franchissement était fixé à 12 % du TNAC. Ce pourcentage est passé à 24 % pour la phase 4.

5. Le mécanisme a été légèrement modifié pour la phase 4, le montant maximum de quotas de la MSR n'étant plus fixé en fonction des enchères mais de manière invariante à un volume de 400 millions.

BIBLIOGRAPHIE

Aldrich, E.L., Koerner, C.L., 2012. "Unveiling assigned amount unit (AAU) trades: Current market impacts and prospects for the future". *Atmosphere*, 3(1), 229-245.

Anderson, B., Di Maria, C., 2011. "Abatement and Allocation in the Pilot Phase of the EU ETS". *Environmental and Resource Economics*, 48, 83-103.

Baudry, M., Dumont, B., 2024. "The credibility of the EU-ETS to decarbonize the European economy", in *Financial Stability, Economic Growth and Sustainable Development* (Chapter 3), Eds: Baudry, M., Bukowsky, S.I., Lament, M.B., Routledge, 338 pp.

Calel, R., 2013. "Carbon markets: a historical overview". *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 4(2), 107-119.

Cameron, A., Baudry, M., 2023. "The case for carbon leakage and border adjustments: where do economists stand?" *Environmental Economics and Policy Studies*, 25(3), 435-469.

Chiappinelli, O., Neuhoﬀ, K., 2020. Time-consistent carbon pricing : the role of carbon contracts for differences, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung Discussion Paper, n° 1858, pages 1-37.

Cludius, J., de Bruyn, S., Schumacher, K., Vergeer, R., 2020. "Ex-post investigation of cost pass-through in the EU ETS – an analysis for six industry sectors". *Energy Economics*, 91, 104883.

Convery, F.J., 2009. "Origins and development of the EU ETS". *Environmental and Resource Economics*, 43, 391-412.

Dales, J.H., 1968. *Pollution, property, and prices*. University of Toronto Press.

Dechezleprêtre, A., Nachtigall, D., 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*, 118, 102758.

Ellerman, A.D., Buchner, B.K., 2008. "Over-allocation or abatement? A preliminary analysis of the EU ETS based on the 2005–06 emissions data". *Environmental and Resource Economics*, 41, 267-287.

Fabra, N., Reguant, M., 2014. "Pass-through of emissions costs in electricity markets". *American Economic Review*, 104(9), 2872-2899.

Fankhauser, S., Hepburn, C., 2010a. "Designing carbon markets. Part I: Carbon markets in time". *Energy Policy*, 38(8), 4363-4370.

Fankhauser, S., Hepburn, C., 2010b. "Designing carbon markets, Part II: Carbon markets in space". *Energy Policy*, 38(8), 4381-4387.

Gaudet, G., 2007. "Natural resource economics under the rule of Hotelling". *Canadian Journal of Economics/Revue canadienne d'économie*, 40(4), 1033-1059.

Koch, N., Fuss, S., Grosjean, G., Edenhofer, O., 2014. "Causes of the EU ETS price drop: Recession, CDM, renewable policies or a bit of everything? – New evidence". *Energy Policy*, 73, 676-685.

IPCC, 2023. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth

Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp.

Lamboll, R.D., Nicholls, Z.R., Smith, C.J., Kikstra, J.S., Byers, E., Rogelj, J., 2023. "Assessing the size and uncertainty of remaining carbon budgets". *Nature Climate Change*, 13(12), 1360-1367.

Montgomery, W.D., 1972. "Markets in licenses and efficient pollution control programs". *Journal of Economic Theory*, 5(3), 395-418.

BIOGRAPHIE

MARC BAUDRY est professeur d'économie à l'Université Paris Nanterre, membre du laboratoire EconomiX et responsable du pôle «Tarification du CO₂ et innovation bas carbone» à la Chaire Économie du Climat. Ses travaux, publiés dans des revues académiques internationales, croisent économie du changement climatique d'une part, économie de l'innovation et de la propriété intellectuelle d'autre part. Il s'intéresse tout particulièrement à la question de l'innovation et du changement technologique «bas carbone» et aux instruments de politique économique susceptibles de les induire.

À lire également dans *La Revue de l'Énergie*

- L'électricité européenne entre la «vague du marché» et la «vague verte», Jean-Pierre Hansen, Jacques Percebois (n° 643, mars-avril 2019)
- Le Pacte vert pour l'Europe : la longue route vers la neutralité carbone, Gabrielle Heyvaert (n° 648, janvier-février 2020)
- Le changement climatique à l'épreuve de la négociation!, Jean-Yves Caneill (n° 651, juillet-août 2020)

À retrouver sur www.larevuedelenergie.com.