UCLouvain

UNIVERSITÉ DE NAMUR

Economics School of Louvain - ESL

Economics School of Namur - ESN

L'impact du mécanisme d'ajustement aux frontières sur les industries en aval qui achètent de l'acier et du fer et de l'aluminium de pays tiers.

Auteur : d'Ursel Valérie

Directeur : Vannoorenberghe Gonzague

Lecteur : Trimarchi Lorenzo

Année académique 2023-2024

Master en sciences économiques – 120 crédits – Finalité : spécialisée

Université catholique de Louvain - Economics School of Louvain - Place Montesquieu 3, 1348 Louvain-La-Neuve

Université de Namur – Economics School of Namur – Rempart de la Vierge 8, 5000 Namur

Je tenais avant tout à remercier le professeur Gonzague Vannoorenberghe pour son aide et son soutient lors de la réalisation de ce mémoire.

Je tenais également à remercier le professeur Lorenzo Trimarchi pour son rôle de relecteur.

Et enfin, je voulais également remercier ma famille et à Gregory Derksen pour l'aide et le soutien apporté tout au long de l'écriture de ce travail.

Table des matières

Introduction 3

Partie I 5

1. Revue de la littérature 5

1.1. La crise écologique 5

1.2. Les objectifs et les mesures environnementales de l'Union Européenne 5

1.3. Système d'échange de quotas d'émission 7

1.4. Force et faiblesse du SEQE 9

1.5. Mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF) 10

1.6. Efficacité du MACF 16

1.7. Le taux de répercussion et l'élasticité 16

Partie II 20

2. Analyse 20

2.1. Méthodologie 20

2.2. Résultats 30

Conclusion 35

Bibliographie 37

Annexe 42

Introduction

Personne n'ignore l'urgence climatique dans laquelle nous nous trouvons actuellement. Aux quatre coins du monde des phénomènes météorologiques extrêmes et des catastrophes naturelles se manifestent de plus en plus. Le nombre moyen de catastrophes naturelles entre 2022 et la moyenne de 2001-2021 augmente de 5 évènements, c'est-à-dire qu'en 2022 il y a eu en moyenne 5 évènements catastrophes en plus par types de catastrophe naturelle. Seul le nombre de glissements de terrain a diminué en 2022 par rapport à la période 2001-2021 (diminution de 1). Le nombre d'inondations à lui, augmenté avec 14 inondations de plus en 2022 que la moyenne de la période 2001-2021. (V. Fourreau, 2023) Ces catastrophes sont souvent considérées comme ponctuelles et indépendantes du contrôle de l'homme mais certains désastres peuvent tout de même être considérés comme une conséquence de l'activité humaine. Une majorité de chercheurs s'accorde pour dire que l'activité anthropique (utilisation d'énergies fossiles et l'agriculture intensive) augmente la température de notre planète et ferait croître l'occurrence de catastrophes naturelles à cause du réchauffement climatique engendré par ces activités anthropiques. (M. Gautier, 13 décembre 2023)

La dernière décennie (2011-2020) a été fortement marquée par le réchauffement climatique. Elle a battue tous les records de température et est la décennie la plus chaude jamais enregistrée. Actuellement, durant chaque décennie, la hausse des températures est de 0,2°C à cause de l'activité humaine. En 2019, la température moyenne était de 1,1°C au-dessus de l'époque préindustrielle. Si cette augmentation atteint les 2°C, de graves répercussions sur l'environnement, la santé des citoyens et le bien-être sont à craindre. (Commission Européenne, 2024) Pour rester sous ce seuil, les pays présents à la COP27 à Charm el-Cheikh (Egypte), ont établi un programme de travail pour maintenir l'objectif de limiter le réchauffement climatique à 1,5°C. (D. Carles, 21 novembre 2022)

Pour parvenir à cet objectif, l'Union Européenne lance son projet : « Green deal ». Le but de l'UE est d'être le premier continent neutre pour le climat d'ici 2050 et de réduire ses émissions de gaz à effet de serre (GES) d'au moins 55% d'ici 2030 par rapport à 1990. (Commission Européenne, 2024) Les initiatives pour atteindre ces objectifs sont multiples et sont de plus en plus nombreuses. La dernière en date est le mécanisme d'ajustement aux frontières (MACF). Le principe du MACF est celui du pollueur-payeur. Les pays tiers qui veulent faire

entrer leur produit sur le territoire européen doivent déclarer la quantité de CO2 émise lors de leur production et payer le nombre de certificats d'émission nécessaire pour couvrir l'entièreté de leurs émissions. Cette nouvelle « taxe » s'applique uniquement à : l'acier et le fer, l'aluminium, l'engrais, le ciment, l'hydrogène et l'électricité. (Commission européenne, 2024)

La question que nous nous posons dès lors est, « quel sera l'impact de ce coût supplémentaire sur les industries en aval ?». Ce nouveau mécanisme augmente les coûts de production des industries étrangères qui devront fort probablement augmenter le prix de leurs biens, biens achetés par les industries européennes pour leur propre production. Le coût de production des industries européennes augmentera à son tour et le prix des biens produits en Europe aussi. Est-ce que cette hausse de prix des biens européens va réduire la compétitivité de l'Europe ? Est-ce que les biens étrangers non-taxés et qui ne subissent donc pas de hausse de prix vont devenir plus attractifs que les biens européens ? C'est à ces questions que nous allons tenter de répondre à travers ce mémoire.

Pour répondre à la question, nous calculerons l'augmentation du prix des biens européens à proportion gardé. Pour parvenir à un résultat nous utiliserons les données de commerce de différentes bases de données ainsi que l'intensité carbone des productions calculée par la World Bank et les mix énergétiques des pays. L'augmentation des prix mise en perspective avec le taux de répercussion et l'élasticité du marché permettent de démontrer que le MACF diminue légèrement les ventes des industries européennes.

Ce mémoire se structure en deux grandes parties. La première partie, la revue de la littérature, comprend toutes les recherches faites sur l'origine du MACF, la description détaillée du mécanisme ainsi que les outils nécessaires pour analyser l'impact d'une hausse de prix des biens européens. Dans la deuxième partie, l'analyse, se trouve la méthodologie utilisée pour estimer l'augmentation des prix des biens européens à la suite du MACF et plus précisément l'augmentation du prix liée à la taxe carbone appliquée à l'acier et fer et l'aluminium. Les résultats se trouvent également dans cette seconde partie. Nous y analyserons l'impact du MACF au vu de l'augmentation de prix à proportion gardée, du taux de répercussion et de l'élasticité du marché.

Partie I

1. Revue de la littérature

1.1. La crise écologique

La crise écologique et le changement climatique que connaissent le monde actuellement entraînent des conséquences sur nos vies et notre quotidien. Le changement climatique transforme les conditions météorologiques, impacte la nature et sa biodiversité mais il impacte aussi l'aspect social de nos vies et nos entreprises. (Commission Européenne, 2024) La cause principale de ce dérèglement est l'augmentation d'émission de gaz à effet de serre (GES). Ces gaz sont le dioxyde de carbone, le méthane, le protoxyde d'azote et les gaz fluorés. De manière très brève, ces gaz fonctionnent comme une serre mais à l'échelle de la planète, c'est-à-dire, que les gaz permettent à l'énergie solaire d'entrer dans l'atmosphère sans pour autant leur permettre d'en sortir. L'énergie solaire coincée dans l'atmosphère provoque ainsi le réchauffement climatique. (Commission Européenne, 2024)

Face à ces menaces, l'Europe et le monde ont décidé de réagir et de trouver des solutions en attaquant directement les causes du dérèglement climatique.

1.2. Les objectifs et les mesures environnementales de l'Union Européenne

Face à la crise écologique que le monde connait actuellement, le parlement européen a déclaré une urgence climatique en novembre 2019. Le parlement a demandé à la Commission d'aligner toutes ses propositions sur l'objectif de réchauffement climatique de 1,5°C et de réduire les émissions de carbone de manière significative.

Pour donner suite à cette demande la Commission européenne a construit le pacte vert (green deal). Ce pacte est un plan qui permettra à l'Europe d'atteindre la neutralité carbone d'ici 2050. Avec cet objectif, l'union européenne vise à faire de l'Europe le premier continent neutre d'un point de vue climatique c'est-à- dire, atteindre un équilibre entre les émissions de carbone et son absorption par les puits de carbone (le sol, les forêts, les océans) pour arriver à des émissions nettes nulles. (Parlement Européen, 2024)

La première étape de cet objectif est de réduire les émissions nettes de GES d'au moins 55% d'ici 2030 par rapport à 1990. Pour ce faire, en 2021, la Commission a proposé son plan « fit for 55 ». Ce plan se compose de 13 lois interdépendantes et 6 propositions de lois sur le climat et l'énergie (Commission européenne 9 octobre 2023). Ces lois et propositions couvrent les secteurs clés de l'économie et contraignent juridiquement les objectifs poursuivis par l'UE.

En bref, le plan se compose de 4 grands objectifs : la réduction des émissions dans une grande panoplie de secteurs, la croissance des puits de carbone naturels (le sol, les forêts et les océans), le système d'échange de quotas d'émission actualisé et un soutien social aux citoyens et aux PME.

Parmi ces quatre objectifs, trois sont dédiés à la décarbonisation de l'air (toutes sauf le soutien social aux citoyens et aux PME). Les puits de carbone naturels, que sont : le sol, les forêts et les océans ne suffisent pas à atteindre la neutralité carbone. Les émissions causées par l'homme sont trop importantes pour que la nature puisse les contrebalancer. Les puits naturels absorbent environ 10 gigatonnes de CO2 par an contre 37,8 Gt (émissions de 2021) de CO2 émises. C'est pour cette raison que l'Europe a recours aux deux autres mécanismes. (Parlement européen avril 2023)

La réduction d'émissions dans différents secteurs se fera par des transports durables grâce à la norme qui fixe que toutes les voitures et camionnettes neuves immatriculées en Europe seront à émissions nulles d'ici à 2035. Elle se fera aussi grâce à l'investissement dans des moyens de production plus verts pour rendre les industries plus durables ou encore en rendant les bâtiments ainsi que l'énergie plus verts. (Commission Européenne, 2024)

Enfin le système d'échange de quotas d'émission (SEQE), adopté en 2005, est un système d'échange de quotas et de plafond d'émission qui oblige les industries et les centrales électriques à disposer d'un permis d'émission pour chaque tonne de CO2eq (dioxyde de carbone et équivalent) émise. Le but de cette mesure est de diminuer les émissions en utilisant le principe de pollueur-payeur. Les quotas devront être achetés par les entreprises. L'argent récolté via les quotas est utilisé pour financer la transition verte de l'Union Européenne. (Commission Européenne, 2024)

1.3. Système d'échange de quotas d'émission

Concentrons-nous plus sur le SEQE qui sera important pour comprendre la question de recherche de ce mémoire. Le SEQE demande aux entreprises de couvrir à l'aide de quotas[1] la quantité de gaz à effet de serre (GES) émise par leurs installations. S'ils n'ont pas acquis suffisamment de quotas, les entreprises se voient pénalisées via de lourdes amendes.

Il existe deux types de quotas : les quotas gratuits et les quotas payants. Les quotas gratuits sont disponibles dans une certaine mesure et sont distribués par l'UE aux entreprises qui ont une forte concurrence et où le risque de carbone leakage[2] est le plus fort. Les entreprises se trouvant dans des secteurs ou sous-secteurs qui font face à un risque significatif de fuite de carbone se voient offrir plus de quotas. L'UE définit le risque de fuite de carbone via l'augmentation des coûts directs et indirects[3]. Un secteur ou sous-secteur fait face à des risques significatifs si l'augmentation des coûts directs de production calculée sur base de la valeur brute ajoutée est de minimum 5% et si les échanges hors Europe sont supérieurs à 10%. Elle vérifie aussi si l'augmentation des coûts directs et indirects supplémentaires sont au-dessus de 30% ou si les échanges commerciaux sont au-dessus de 30%. Une liste répertorie tous les secteurs ou sous-secteurs à risques. Les secteurs ou sous-secteurs présents sur celle-ci peuvent obtenir jusqu'à 100% de quotas gratuits. Les secteurs ou sous-secteurs non répertoriés dans la liste se partagent le reste des quotas gratuits prévus par l'Europe. (Commission Européenne 2024)

En ce qui concerne les quotas payants, ils peuvent être acquis lorsque ceux distribués par l'Europe ne suffisent pas. L'achat des quotas se fait via un système d'enchères, système qui permet une grande transparence et équité. 90% des quotas à mettre aux enchères, fournis par l'UE, sont distribués aux états membres proportionnellement à la part de leurs émissions. Les 10% restants, sont distribués à certains membres à des fins de solidarité, de croissance et d'interconnexions dans l'Union. (DIRECTIVE 2003/87/CE article 10 paragraphe 2) Les états

[1] Pourcentage, contingent, nombre déterminé (Larousse, 2024) Ici ce nombre détermine la quantité d'émission de GES.

[2] Carbon leakage = fuite de carbone, les industries déplacent leurs centres de production là où les règles en matière d'environnement sont plus souples. (Commission européenne)

[3] On entend par "**émissions directes**" les émissions résultant des processus de production de biens, y compris les émissions résultant de la production de chauffage et de refroidissement consommés au cours des processus de production, quel que soit le lieu de production du chauffage et du refroidissement.
On entend par **"émissions indirectes"** les émissions provenant de la production d'électricité, qui est consommée au cours des processus de production de biens, quel que soit le lieu de production de l'électricité consommée. (def Commission Européenne)

membres proposent les quotas reçus sur une plateforme d'enchères au moyen de contrats électroniques standardisés. Les autres Etats peuvent alors soumettre une offre sur les quotas durant la fenêtre d'enchères précisée. Les soumissionnaires proposent un prix pour les quotas et la quantité de quotas qu'ils souhaitent acquérir sans savoir ce que les autres états membres soumettent. A la fermeture de l'enchère, les offres sont triées par ordre de prix. Ceux dont l'offre est la plus généreuse reçoivent les quotas demandés aux prix de clôture et ainsi de suite jusqu'à épuisement des quotas mis en ventes. Le prix de clôture est déterminé par l'offre la plus basse qui reçoit entièrement ou partiellement, dépendant de la quantité de quotas disponible, les quotas demandés. (RÈGLEMENT DÉLÉGUÉ (UE) 2023/2830 chapitre II)

La quantité de quotas que l'Union Européenne distribue est déterminée par un plafond c'est-à-dire que la somme des quotas gratuits et payants qui permettent aux entreprises de polluer est limitée.

Le SEQE qui est d'application depuis 2005 a connu plusieurs phases (4) au cours desquelles la situation du marché des quotas d'émission a évolué.

La phase I, lancée en 2005 et terminée en 2007, a servi comme phase pilote pour apprendre et pouvoir avoir un SEQE effectif lors de la phase II. En résumé lors de cette phase presque tous les quotas étaient gratuits et les pénalités pour non-respect étaient de 40€/tonne. La première phase a permis de fixer un prix pour le carbone, de créer un système d'échange gratuit pour les émissions à travers l'UE ainsi que l'infrastructure nécessaire pour surveiller, déclarer et vérifier les émissions des entreprises couvertes.

La phase II, qui a commencé en 2008 et s'est terminée en 2012, était la première phase durant laquelle les pays membres de l'union européenne avaient de vrais objectifs de réduction d'émission. Le plafond dans cette phase a baissé de 6,5% par rapport à 2005 et le nombre de quotas gratuits a légèrement diminué pour atteindre 90% de la quantité distribuée lors de la phase précédente. Le système d'enchères s'est mis en marche. Cette phase a également connu des nouveautés comme l'accord pour les entreprises d'acheter des crédits internationaux[4], l'arrivée du registre de l'Union et du Journal des transactions de l'Union

[4] Instruments financiers qui représentent une tonne de CO2 éliminée ou réduite de l'atmosphère grâce à des projets de réduction d'émissions. (Commission Européenne, 2024)

européenne (EUTL) et le 1 janvier 2012 le secteur de l'aviation a fait son apparition dans le SEQE-UE.

Lors de la phase III (2013-2020) de plus gros changements que durant la phase I et II ont été mis en place. Les changements principaux étaient d'avoir un plafond d'émission unique pour l'Europe, à la place d'un plafond par nation, mais aussi que le système d'allocation par défaut est devenu celui des enchères, et donc que le nombre de quotas gratuits a diminué et s'est harmonisé.

Enfin la phase IV (2021-2030), vise à encore diminuer le nombre de quotas gratuits. Lors de phase précédente, le nombre de quotas gratuits diminuait linéairement de 1,74% par an. Dans cette phase la diminution accélère et passe à 2,2% par an. (Commission Européenne 2024) Dans cette phase, l'objectif est de réduire jusqu'à éliminer les quotas gratuits pour les industries qui ne sont pas concernées par de gros risques de fuite carbone. La détermination d'industries à risque se base maintenant sur des critères plus sévères et sur des données plus complètes. (Commission Européenne 2024)

1.4. Force et faiblesse du SEQE

Un problème majeur ressort de ce système. L'Europe craint une perte de compétitivité. La compétitivité peut se définir de deux manières : par une baisse du produit intérieur qui peut engendrer une délocalisation des industries, une baisse de l'emploi et des fuites de carbone ou par la baisse de profit des entreprises sur le territoire. (Demailly & Quirion, 2008). L'Europe, en imposant son système de quotas aux pays membres, fait augmenter les prix pour les entreprises européennes. De ce fait, les pays extérieurs à l'Europe qui ont des règles carbones moins sévères pourraient devenir plus intéressantes pour les producteurs. Les entreprises seraient alors tentées de délocaliser leurs productions vers ces pays aux règlementations plus légères ou de se fournir auprès d'industries étrangères qui n'ont pas de réglementations sur leurs pollutions. Cela contrerait les efforts de l'Europe pour décarboniser les industries et pourrait même augmenter les émissions de CO_2 à cause de l'augmentation des transports ou à cause de la délocalisation des industries dans des régions qui utilisent des moyens de production à plus forte intensité de carbone. (Fontagné & Schubert, 2023) Des preuves de perte de compétitivité ont été trouvées. Le SEQE diminue la production brute des industries

concernées par le SEQE qui ont une forte empreinte carbone. (Böning et al., 2023) En ce qui concerne les fuites carbones, beaucoup de chercheur ont travaillé sur cette problématique. Une partie d'entre eux se sont basés sur des données ex-post, mais l'application récente de prix carbone et la grande distribution de quotas gratuits rendent l'analyse difficile. Les résultats de recherche ex-post à ce sujet sont mitigés. Naegele & Zaklan (2019), Colmer et al. (2022) ou encore Dechezleprêtre et al. (2022) n'ont pas trouvé de preuves de fuites de carbone alors que Misch & Wingender (2021) ou Ben-David et al. (2021) ont trouvé des preuves de fuites de carbone. D'autres chercheurs ont basé leurs études sur des données ex-ante. Ceux-ci ont trouvé que le SEQE entrainait effectivement des fuites de carbone. Par exemple Demailly & Quirion 2006 ont trouvé que le SEQE pouvait entrainer une fuite de 50%[5] voire de 70% dans l'industries du ciment et Fowlie & Reguant 2022 ont trouvé que pour une taxe de 25$ aux Etats-Unis, la fuite carbone, à travers les industries, pouvait atteindre en moyenne 46%. (L. Fontagné et K. Schubert, 2023)

1.5. Mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF)

Afin de contrer les effets néfastes du SEQE, l'Union européenne a pris la décision de mettre le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières en place. L'UE espère, à travers ce mécanisme, apporter une nouvelle corde à son arc pour parvenir aux objectifs décrits dans le pacte vert mais aussi de permettre à l'Europe de soutenir son objectif climatique tout en s'assurant que ses actions ne soient pas diminuées par une augmentation d'émissions de GES des importations dans l'UE.

1.5.1. Description du MACF

La Commission Européenne décrit le MACF comme « l'outil dont dispose l'UE pour fixer un prix équitable sur le carbone émis lors de la production de biens à forte intensité de carbone qui entrent dans l'UE, et pour encourager une production industrielle plus propre dans les pays tiers. ». Ce mécanisme complète le SEQE en appliquant des règles similaires à celles du SEQE sur les importations. Pour répondre aux exigences du MACF, les importateurs devront déclarer chaque année la quantité de biens importés dans l'UE au cours de l'année précédente et la quantité de gaz à effet de serre produite pour la production de la quantité importée. Ces

[5] Le pourcentage indique que pour 100 tonnes de GES non-émis dans le pays, dans ce cas ci 50 tonnes ont été émises dans un autre pays. (*Les Fuites de Carbone, Mythe ou Réalité ? - le Blog du CEPII*, s. d.)

quantités seront reportées à l'UE via le registre du MACF. L'UE remettra ensuite le nombre correspondant de certificats MACF. Le prix des certificats sera calculé en fonction du prix moyen hebdomadaire des enchères de quotas du système d'échange de quotas d'émission (SEQE), exprimé en euros par tonne de CO2 émise. La suppression progressive de l'allocation gratuite dans le cadre du SEQE se fera parallèlement à l'introduction progressive du MACF au cours de la période 2026-2034. (Commission européenne 2023)

Le MACF sera appliqué à une sélection de produits : le ciment, l'aluminium, le fer et l'acier, les engrais, l'hydrogène et l'électricité. La quantité de GES émises pour la production de ces produits dans des pays tiers doit être compensée par l'acquisition de quotas. L'Union Européenne entend par pays tiers, pays, territoires ou groupes de pays ou de territoires hors du territoire douanier de l'Union. Quelques pays font exception : les pays tiers dans lesquels le SEQE ou l'Union assure un couplage total entre le SEQE-UE et le système d'échange du pays tiers et où le prix carbone payé est facturé sur les GES intrinsèque est équivalent ou dépasse les prix du SEQE-UE. (RÈGLEMENT (UE) 2023/956, article 2)

Tous les produits concernés par le MACF doivent être importés sur le territoire européen par un déclarant MACF autorisé. Les déclarants MACF autorisés peuvent être une entreprise (établie dans l'union européenne) qui fait importer ces biens depuis des pays tiers ou l'importateur peut désigner un déclarant indirect. Le déclarant devra présenter au plus tard le 31 mai de l'année suivante la déclaration MACF de l'importateur. Dans cette déclaration se trouvent 4 informations : la quantité de chaque type de bien concerné par le MACF importée lors de l'année précédente, exprimée en mégawattheures pour l'électricité ou en tonnes pour les autres marchandises, les émissions intrinsèques totales des marchandises exprimées en tonne de CO2, le nombre total de certificats MACF à fournir et des copies des rapports de vérification. (RÈGLEMENT (UE) 2023/956, article 6)

Le calcul des émissions intrinsèques peut se faire à travers trois méthodes :

A) Pour les marchandises simples

Les marchandises simples sont décrites comme étant « les marchandises produites dans le cadre d'un processus de production nécessitant exclusivement des matières entrantes (précurseurs) et des combustibles à émissions intrinsèques nulles » par l'Union Européenne. La formule pour les calculer est la suivante : (RÈGLEMENT (UE) 2023/956, Annexe IV point 2)

$$\mathrm{SE}E_g = \frac{AttrEm_g}{AL_g}$$

Où,

SEEg : représente les émissions intrinsèques spécifiques des marchandises g en équivalent CO2 par tonne

AttrEmg : représente les émissions attribuées des marchandises g. Les émissions attribuées se calculent avec les émissions directes et indirectes

$$\mathrm{AttrEm_g} = \mathrm{DirEm} + \mathrm{IndirEm}$$

DirEm : représente les émissions directes résultant du processus de production, exprimées en tonnes équivalent CO2.

IndirEm : représente les émissions indirectes résultant de la production d'électricité consommée dans le processus de production de marchandises, exprimée en tonnes équivalent CO2.

ALg : représente le niveau d'activité des marchandises, qui est la quantité de marchandises produites au cours de la période de déclaration dans cette installation.

B) Les marchandises complexes (RÈGLEMENT (UE) 2023/956, Annexe IV point 3)

Les marchandises complexes sont définies par la Commission européenne par « les marchandises autres que les marchandises simples »

Les émissions intrinsèques de GES des marchandises complexes se trouvent à l'aide de la formule suivante :

$$\mathrm{SE}E_g = \frac{AttrEm_g + EE_{inpMat}}{AL_g}$$

Où,

AttrEmg : représente les émissions attribuées des marchandises g.

ALg : représente le niveau d'activité des marchandises, qui est la quantité de marchandises produites au cours de la période de déclaration dans cette installation.

EEInpMat : représente les émissions intrinsèques des matières entrantes (précurseurs) consommées au cours du processus de production. Celle-ci se calcule $EE_{inpMat} = \sum_{i=1}^{n} M_i SEE_i$

Mi : représente la masse des matières entrantes (précurseurs) i utilisées dans le processus de production.

SEEi : représente les émissions intrinsèques spécifiques pour la matière entrante (précurseur) i. Pour SEEi , l'exploitant de l'installation utilise la valeur des émissions résultant de l'installation où les matières entrantes (précurseurs) ont été produites, à condition que les données de cette installation puissent être correctement mesurées.

C) Les valeurs par défaut (RÈGLEMENT (UE) 2023/956, Annexe IV point 4)

En l'absence de données réelles nécessaires pour le calcul des émissions intrinsèques, les données de la littérature peuvent être utilisées. Les meilleures données disponibles, c'est-à-dire les données les plus fiables et accessibles au public, seront utilisées pour fixer la quantité

de GES produites lors de la production de biens et serviront comme valeurs par défaut. Les valeurs par défaut sont révisées périodiquement pour avoir les informations les plus récentes.

Les valeurs obtenues sont vérifiées par un vérificateur accrédité. Le déclarant doit veiller à ce que cette vérification se fasse conformément à la loi. (RÈGLEMENT (UE) 2023/956, article 8)

Toutes les données demandées par l'Europe doivent être fournies via un registre. Ce registre a été établi par la Commission et est sous forme de base de données électrique normalisée. Les informations se trouvant dans le registre sont transmises et mises à disposition des autorités douanières et autorités compétentes en temps réel.

Le nombre de certificats MACF dont l'importateur a besoin est déterminé grâce à ces informations. L'importateur devra couvrir au moins 80% de ses émissions grâce aux certificats MACF. Le déclarant devra rendre au plus tard le 31 mai de l'année suivante les minimum 80% de certificats. (2023/956, article 22) Un certificat couvre une tonne de CO2eq émise. Les certificats s'obtiennent via leur mise en vente par les états membres sur une plateforme centrale commune aux déclarants MACF autorisés fixés dans les états membres. Cette plateforme est gérée par la Commission Européenne, en accord avec les états membres. (2023/956, article 20) Le prix des certificats à la vente est déterminé par le prix des quotas SEQE. Chaque semaine civile, la Commission calcule le prix des certificats en prenant la moyenne des prix de clôture des quotas SEQE sur la plateforme d'enchères. Le prix calculé est valable du premier jour ouvrable de la semaine suivante jusqu'au premier jour ouvrable de la semaine d'après. (2023/956, article 21) Une demande de réduction du nombre de certificats peut cependant être faite par un déclarant MACF si l'importateur paye déjà un prix carbone dans son pays d'origine. Cette réduction ne peut être demandée que si le prix a été effectivement payé. Des preuves de ce payement devront être apportées et conservées pour profiter de la réduction. (2023/956 article 9)

Si un déclarant ne rend pas à la date limite du 31 mai le bon nombre minimum de certificats MACF correspondant aux émissions intrinsèques des marchandises importées lors de l'année précédente de l'importateur, celui-ci sera sanctionné d'une amende. L'amende a une valeur de 100€ par tonne de CO2 non couverte par un certificat conformément à l'article 16 paragraphe 3 de la directive 2003/87/CE. Des amendes sont également prévues si une personne autre qu'un déclarant autorisé introduit des marchandises visées par le MACF sur le territoire de l'Union Européenne. L'amende est proportionnelle à la gravité de l'acte.

1.5.2. Mise en place du MACF

Ce système entrera en vigueur le 1er janvier 2026. Avant cela la Commission réalise une phase test appelée phase transitoire. Celle-ci se déroule du 1 octobre 2023 jusque fin 2025. Lors de la phase transitoire, l'UE déclare que « Pendant la période transitoire, les importateurs ou les représentants en douane indirects doivent déclarer la quantité de marchandises importées, les émissions intrinsèques, directes et indirectes, de celles-ci et le prix du carbone éventuellement dû pour ces émissions, y compris les prix du carbone dus pour les émissions intrinsèques des précurseurs pertinents. ».

D'un point de vue pratique, les déclarations faites lors de la phase transitoire et lors de l'application du MACF sont similaires. Quelques données cependant changent pour des raisons de faisabilité et d'adaptation. De manière similaire à l'application du MACF en 2026, les exportateurs devront fournir, dans le registre, la quantité de marchandises importées en Europe, les émissions intrinsèques (directes et indirectes) et le prix carbone dû pour ces émissions. Ils ne devront cependant effectivement acheter les certificats qu'à partir de 2026. La méthode de calcul des émissions est identique dans les deux périodes. Des dérogations peuvent cependant être faites jusque fin 2024 pour les déclarants qui rencontreraient des difficultés à obtenir toutes les informations nécessaires auprès des pays tiers. Les données fournies par les déclarants seront vérifiées et une amende sera infligée aux déclarants qui fraudent. L'amende lors de la phase transitoire est plus faible que celle prévue lors de l'application du MACF en raison de la seule obligation de déclaration. (Règlement d'exécution 2023/1773, paragraphe 13) L'amende lors de la phase transitoire sera d'une hauteur de 10 à 50 EUR par tonne de d'émission de CO2 non déclarée. (Règlement d'exécution 2023/1773, article 16 paragraphe 2)

Les buts de cette phase transitoire sont de mieux définir les méthodes de calcul des émissions intrinsèques indirectes et de définir une méthode uniforme de surveillance, de déclaration et de vérification. A la fin de la période transitoire, la Commission sera en mesure d'affiner la méthode applicable. (Commission Européenne 2024)

1.6. Efficacité du MACF

Est-ce que le MACF sera réellement efficace contre la perte de compétitivité et les fuites carbone du SEQE ? La littérature semble s'être mise d'accord pour dire qu'un mécanisme d'ajustement carbone aux frontières comme celui que l'Europe veut mettre en place, c'est-à-dire un mécanisme qui se concentre sur un petit nombre de produits à forte intensité carbone et qui exclut les allocations de quotas gratuits, a les caractéristiques souhaitables. (Fontagné & Schubert, 2023) Pour l'industrie de l'acier, un prix MACF de 20€ sur la quantité de carbone émis par le pays exportateur pourrait éliminer les fuites carbones. (Kuik & Hofkes, 2010) En ce qui concerne la compétitivité, les recherches semblent confirmer la théorie. L'Europe, suite au MACF, augmenterait sa demande interne et diminuerait les importations. (Zhong & Pei, 2022) Ce qui signifie que les industries européennes sont plus compétitives et plus intéressantes que les industries étrangères. Cependant, plus de recherche doivent être faites pour pouvoir complètement répondre à cette question. (Fontagné & Schubert, 2023) Une des questions à investiguer est : « quel sera l'impact du MACF sur les industries en aval et quel impact aura l'augmentation des coûts de production sur ces entreprises ? ».

1.7. Le taux de répercussion et l'élasticité

L'impact du MACF sur les industries en aval peut se calculer à travers le taux de répercussion et l'élasticité du marché par rapport au prix. Le taux de répercussion calcule la proportion dans laquelle le prix de la taxe, le prix d'émissions de carbone, se transfère dans le prix des produits des industries en aval. Quant à l'élasticité du marché, elle permet de calculer le changement dans les échanges commerciaux à la suite d'une augmentation de prix.

1.7.1. Le taux de répercussion des coûts

Le prix des biens des industries en aval (industries européennes qui achètent des biens visés par le MACF) peut être influencé par les changements de coûts (coûts des biens intermédiaires ou l'indemnisation du travail) et des facteurs de marché (offre et la demande). (Yang & Yan, 2023) Ces facteurs déterminent dans quelle proportion l'augmentation des coûts va se transmettre au prix du bien fini. Cette transmission de coûts est évaluée par le taux de répercussion des coûts. Le taux de répercussion des coûts est lui-même influencé par la capacité d'une industrie à fixer les prix et la technologie de production de l'industrie. Si le ratio est strictement supérieur à 1, le coût se transmet plus que proportionnellement,

l'augmentation est supérieure au prix de la taxe. Si le ratio est strictement inférieur à 1, le coût ne se transmet que partiellement, l'augmentation du prix est inférieure à la taxe. Yang et Yan, dans leur étude, calculent le taux de répercussion d'une augmentation de prix causé par le MACF, dans 14 régions et dans 3 secteurs grâce au modèle ECM[6] en utilisant l'indice des prix en temps continu et les données d'entrée-sortie. Les taux de répercussions des différents secteurs et pays de leur étude se trouvent dans l'image 1, ci-dessous. Leurs résultats indiquent que certains pays, comme la Grande-Bretagne, peuvent profiter du MACF et gonfler leurs bénéfices en augmentant leurs prix plus que proportionnellement. Dans le tableau, la Grande-Bretagne (GBR) a un taux de répercussion supérieur à 1, pour les trois secteurs. Une augmentation du prix de production, due par exemple à la taxe carbone, permet à la Grande-Bretagne d'augmenter ses bénéfices car elle augmente ses prix plus fortement que ce que son coût de production n'augmente. En revanche d'autres pays, comme la Chine ou l'Inde, subissent des pertes de bénéfices car leurs industries ne peuvent pas augmenter leurs prix autant que l'augmentation de leurs coûts de production due au MACF. (Yang & Yan, 2023)

Image 1 : tableau du taux de répercussion des coûts de Yang & Yan 2023

Table 3. Cost Pass-Through Rates.

	AUS	CAN	JPN	KOR	MEX	GBR
Primary sector	1.5001	0.9690	0.8483	1.3109	0.9957	1.5269
Secondary sector	0.7497	1.1566	1.0947	1.2150	1.2565	1.2378
Tertiary sector	1.2140	0.9169	1.1113	0.9573	1.0701	1.0910
	USA	CHN	IND	RUS	EU ETS	ROW
Primary sector	1.1516	0.8175	1.3274	0.9485	1.0304	1.1680
Secondary sector	1.1957	0.8632	0.9699	1.1407	0.7502	1.0728
Tertiary sector	0.9997	0.9154	0.9152	1.0341	0.6396	1.0184

Les taux de répercussions qui nous intéressent particulièrement dans ce mémoire sont ceux du secteur secondaire. Le secteur secondaire regroupe toutes les industries manufacturières qui transforment les produits primaires (comme la bauxite) en produit fini ou semi-fini (comme des plaques d'acier). C'est à cette catégorie que les produits visés par le MACF

[6] Error correction model

appartiennent. L'ajustement carbone aux frontières augmente le prix de production des pays qui exportent ces produits vers l'Europe. Nous pouvons constater que l'augmentation des coûts de production dans le secteur secondaire a un effet très différent dans les différents pays. Les États-Unis ou la Russie, par exemple, profitent de l'augmentation de prix et peuvent faire plus de bénéfice grâce à celle-ci. Respectivement, le taux de répercussion des deux pays et de 1,20 et 1,14. Une augmentation de 1% de leur coût de production se traduira par une augmentation de 1,20% et 1,14% dans leurs prix de ventes. A l'inverse, certains pays ne peuvent pas profiter de l'augmentation de leur coût de production, doivent l'intégrer et perdre en bénéfices. La Chine et l'Inde font partie de cette catégorie de pays et ont respectivement un taux de répercussion dans le secteur secondaire de 0,86 et 0,97. Une augmentation des coûts de production de 1% se traduira seulement par une augmentation du prix de vente de 0,86% et 0,97%.

1.7.2. L'élasticité

L'élasticité du marché donne le degré substituabilité des produits, c'est-à-dire le degré auquel un pays importateur remplacera l'industrie exportatrice d'un bien pour une autre industrie à cause d'une augmentation de prix. (Fontagné & Guimbard & Orefice, 2022) Si l'élasticité est supérieure à 1[7], le marché est élastique et réagit plus que proportionnellement à la hausse de prix. Au contraire, si l'élasticité est en dessous de 1, le marché est considéré comme inélastique et réagit faiblement à la hausse des prix. Une élasticité de 0 signifie que le marché est parfaitement inélastique, il n'y a aucun changement sur les quantités échangées lors d'une hausse de prix. Si l'élasticité est égale à 1, les quantités échangées varient proportionnellement à la hausse des prix.

Lionel Fontagné et ses collègues ont calculé l'élasticité de marché par secteur. Pour la calculer, ils ont utilisé pour chaque produit HS-6 les échanges commerciaux mondiaux en valeur pour une année précise et la taxe appliquée à chaque exportateur par chaque importateur. Les élasticités qu'ils ont obtenues se trouvent dans l'image 1. Leurs résultats montrent que les élasticités moyennes[8] par catégories de produits (colonne 3) sont au-dessus de 1. Elles varient entre 3,61 (Chaussures, coiffures, parapluies et plumes préparées) et 18,50 (Produits

[7] En valeur absolue
[8] Moyenne des élasticités des produits compris dans chaque secteur.

minéraux). Une augmentation de 1% du prix peut diminuer la demande jusqu'à 18,50%. (Fontagné et al., 2022)

Image 2 : statisitique descriptives de l'élasticité de marché par produit HS réalisé par L. Fontagné et al.

Table 5
The descriptive statistics for trade elasticities by HS section.

Section	Description	Average	Std Dev	Min	No. of HS6	No. of HS6 non-missing ε_k
I	Live Animals and Animal Products	−7.54	9.08	−70.55	228	222
II	Vegetable Products	−6.06	4.55	−37.51	256	251
III	Animal or vegetable fats and oils	−8.53	8.69	−46.70	45	43
IV	Prepared foodstuffs, beverages and tobacco	−6.17	4.50	−29.19	193	193
V	Mineral products	−18.50	17.68	−122.97	148	141
VI	Products of chemical industries	−10.33	10.67	−117.08	789	743
VII	Plastic and articles thereof	−8.39	7.20	−63.41	211	211
VIII	Raw hides and skins, leather and article thereof	−5.59	4.67	−20.20	69	67
IX	Wood/Cork and articles of Wood/Cork;	−8.47	8.12	−61.96	93	93
X	Pulp of wood or other cellulosic materials	−9.93	7.42	−62.82	144	142
XI	Textile and textile articles	−7.15	6.86	−51.42	801	792
XII	Footwear, Headgear, Umbrellas and prepared feathers	−3.61	2.77	−10.67	49	46
XIII	Articles of stone, plaster, ceramic and glass	−6.62	4.19	−21.26	143	142
XIV	Natural cultured pearls and precious stones and metals	−13.59	13.52	−68.81	51	50
XV	Base metals and articles of base metals	−9.59	9.76	−67.13	568	557
XVI	Machinery and mechanical appliances and electrical machinery	−6.08	5.55	−38.17	769	752
XVII	Vehicles, Aircraft and transport equipment	−10.46	8.53	−40.58	131	129
XVIII	Optical, photographic, precision and medical instruments	−5.61	5.53	−45.94	217	208
XIX	Arms and ammunitions	−6.52	5.14	−13.65	20	20
XX	Miscellaneous	−4.85	3.42	−14.39	118	117
XXI	Works of art	−5.96	4.37	−12.18	7	7

Notes: This table lists the descriptive statistics (mean, standard deviation, minimum and non-missing values) for the ε_k parameter estimated as in Eq. (5), for each HS section. The numbers in columns 3–5 are calculated using non positive trade elasticity abstracting for their significance level. *Source*: Authors' calculations.

Si les prix des biens produits en Europe augmentent, la demande de ceux-ci diminuera en fonction de l'élasticité du marché décrite dans l'image 1. Les produits de la section V (Mineral products), XIV (Natural cultured pearls and precious stones and metals) ou encore XVII (véhicules, aircraft and transport equipement) présentent davantage de risques de perdre une part de marché plus importante si leur prix augmente à cause du MACF.

Partie II

2. Analyse

La partie II sera constituée de la méthodologie utilisée pour trouver le changement de prix des produits liés au MACF ainsi que les résultats. Dans les résultats, le changement de prix est mis en perspective avec le taux de répercussion et l'élasticité du marché pour avoir une idée de la perte de marché des industries européennes. Nous nous concentrons sur les industries d'acier et fer et d'aluminium. L'industrie d'acier et fer fait partie des deux secteurs manufacturiers les plus importants (avec l'industries du ciment). (Stefan Ambec & Federico Esposito & Antonia Pacelli, 2024) De plus, les industries d'acier et fer et d'aluminium ont une chaine de valeur en aval complexe. Les échanges en aval sont dominés par des produits finis ou semi-finis qui ne sont pas couverts par le MACF. Or ces produits contiennent une part importante de produits à forte intensité carbone et ont une valeur ajouté faible, ce qui les rends vulnérables à la substitution de produits similaire. (Marcu A. & Mehling M. & Cosbey A. & Maratou A., 2021)

2.1. Méthodologie

Pour pouvoir répondre à la question de recherche « Quel est l'impact du mécanisme d'ajustement aux frontières sur les industries en aval qui achètent de l'acier et du fer et de l'aluminium de pays tiers?», plusieurs bases de données ont été nécessaires. Les bases de données ont été manipulées afin de ne garder que les informations pertinentes et des hypothèses ont été posées. Pour parvenir à répondre à la question, trois données sont nécessaires :

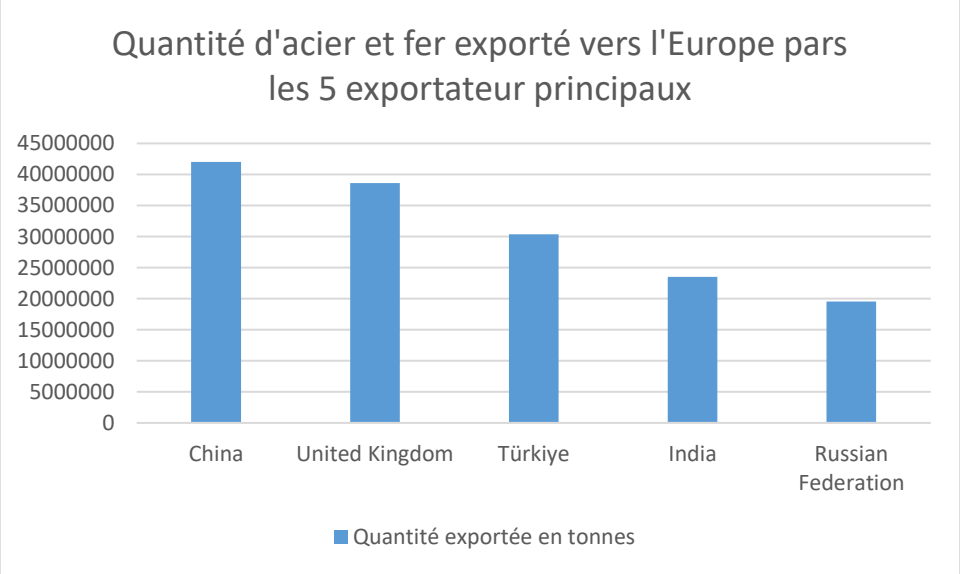
- La quantité et la valeur d'acier et fer et d'aluminium importée en Europe.
- Le prix d'émission de CO2 par dollar de bien exporté vers l'Europe.
- Les coûts d'acier et fer et d'aluminium dans la production de biens européens venant de pays hors-Europe.

Pour obtenir les premières données nécessaires, c'est-à-dire la quantité (en tonne) et la valeur (en milliers de dollars américain) d'acier et fer et d'Aluminium importée en Europe, les données de 2017 de BACI ont été utilisées. Cette base de données fourni toutes les données

de commerce de l'année 2017[9]. Seules les données pertinentes d'export d'acier et fer et d'aluminium de pays non européens vers l'Europe pertinente pour cette recherche ont été gardées. Ensuite, pour pouvoir déterminer la quantité de CO2 émise par type de bien et par pays, les différents codes produit de BACI ont été regroupé dans deux groupes distinct. Le premier groupe rassemble tous les biens en acier et fer et le deuxième les produits en aluminium. Au total, 324.327.996 tonnes d'acier et fer ont été importé en Europe pour une valeur de 54.500.394,93 milliers USD et 47.442.190 tonnes d'aluminium ont été importées pour une valeur de 8.179.282,97 milliers USD.

Les plus gros exportateurs d'acier et fer sont : la Chine (42.037.848 tonnes), le Royaume-Uni (38.615.076 tonnes), la Turquie (30.373.216 tonnes), l'Inde (23.510.704) et la Russie (19.535.580 tonnes).

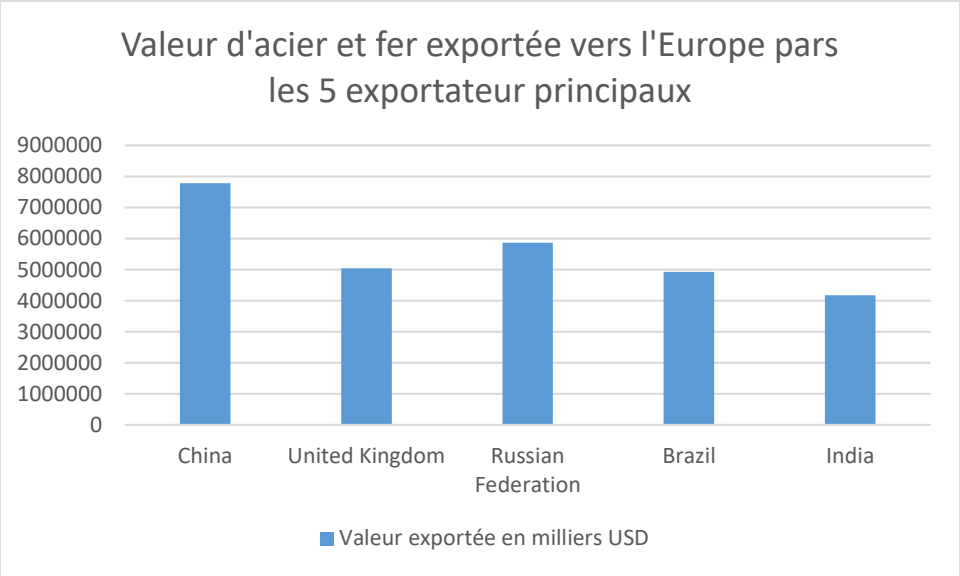
Graphique 1 : Quantité d'acier et fer exportée vers l'Europe pars les 5 exportateurs principaux



[9] Même année que les données d'industries du bureau of economic analyses.

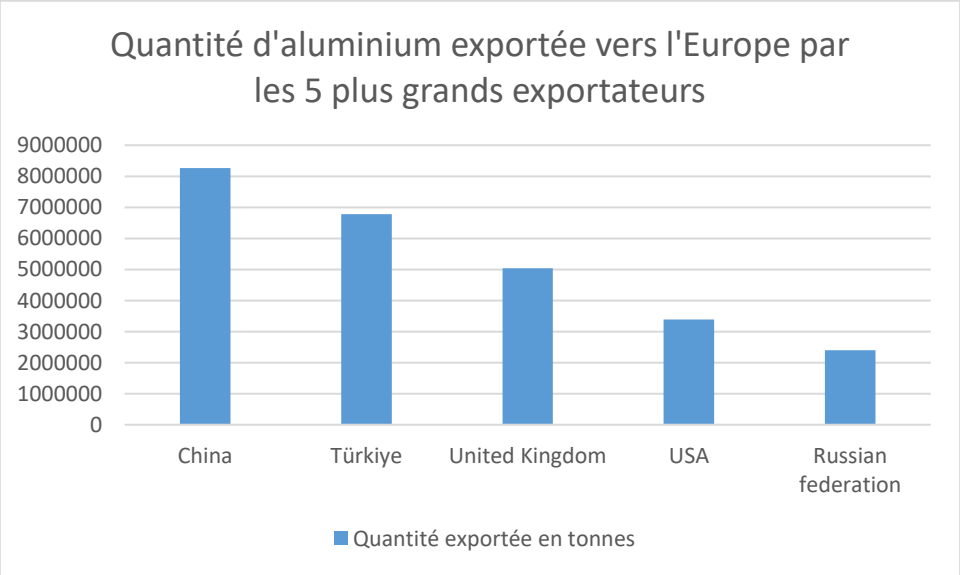
Si nous parlons en termes de valeur, la Chine reste le pays qui a la plus grosse valeur d'exportation (7.779.845,5 milliers USD) mais le reste du classement change. Après la Chine, les 4 pays dont la valeur d'exportation est la plus haute sont : la Russie (5.861.782 milliers USD), le Royaume-Uni (5.044.436 milliers USD), le Brésil (4.930.494,5 milliers USD) et l'Inde (4.176.358,25 milliers USD).

Graphique 2 : Valeur d'acier et fer exportée par les 5 plus grands exportateurs en milliers USD



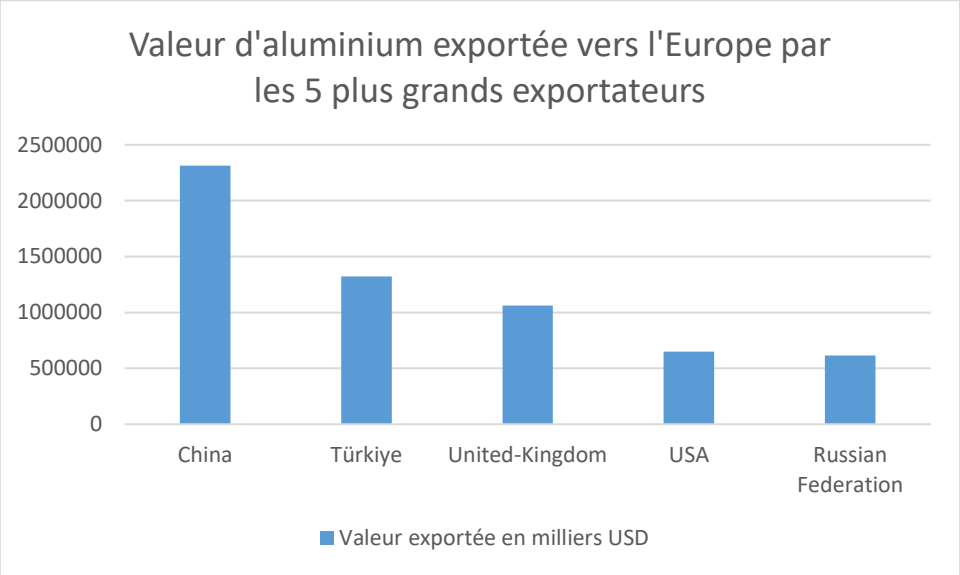
Les plus gros exportateurs d'aluminium sont : la Chine (8.263.905 tonnes), la Turquie (6.783.562 tonnes), le Royaume-Uni (5.038.213 tonnes), et les US (3.392.486 tonnes) et la Russie (2. 402.044 tonnes).

Graphique 3 : Quantité exportée vers l'Europe par les 5 plus grands exportateurs



A nouveau, en terme de valeur, la Chine reste en tête avec une valeur d'exportation de 2.312.438 milliers USD suivie par la Turquie (1.322.945,25 milliers USD), le Royaume-Uni (1.061.476 milliers USD), les Etats-Unis (836.006,13 milliers USD) et la Russie (648.706,88 milliers USD)

Graphique 4 : Valeur exportée vers l'Europe par les 5 plus grands exportateurs



Si ces pays émettent une grande quantité de CO2 lors de la production de biens exportés, les certificats MACF qu'ils devront se procurer feront fortement augmenter le prix de leurs biens.

En ce qui concerne la deuxième donnée nécessaire, Le prix d'émission de CO2 par dollar de bien exporté vers l'Europe, elle a été calculée grâce : aux données BACI transformée, à la base de données de la World Bank sur le CBAM exposure index (World bank open data 2024) et à une estimation du prix du carbone en 2026.

Les données de la World Bank reprennent la quantité, en kg, de CO2 émis par dollar de bien exporté pour certains pays. Cette quantité correspond à l'intensité carbone de production des différents pays de la base de données. (World Bank Group, 2023) Malheureusement, la base de données n'est pas assez complète. Tous les pays exportateurs d'acier et fer et d'aluminium ne sont pas repris dans celle-ci. Pour cette raison, une moyenne d'émission de CO2 a été créée pour compléter la base de données et avoir une approximation des émissions de CO2 pour chaque pays exportateur. La moyenne des émissions a été calculée par région. Ce choix a été fait car nous avons remarqué que les mix énergétiques[10] des pays se trouvant dans la même

[10] Sources d'énergie utilisées dans une région définie.

région étaient fort similaires. [11] (our world in data, 2022) Les pays se trouvant dans la même région utilisent souvent les mêmes sources principales d'énergies et des petites différences peuvent s'apercevoir dans les énergies moins utilisées. Cependant, l'Afrique est plus disparate dans les énergies qu'elle utilise. Par manque de données, cette disparité ne sera pas prise en compte. Les moyennes par région se trouvent dans la Tableau 1.

Tableau 1. Émission de CO2 moyenne lors de la production d'acier et fer et d'aluminium

Région	Émission de CO2 moyenne lors de la production de bien en acier et fer (en kg par dollar d'exportation)	Émission de CO2 moyenne lors de la production de bien en aluminium (en kg par dollar d'exportation)
Europe	0,4	0,13
Asie	0,69	0,18
Moyenne Orient	0,83	0,38
Afrique	0,51	0,25
Amérique du nord	0,29	0,09
Amérique du sud	0,58	0,27
Océanie	0,24	0,26

Le prix utilisé dans cette analyse est de 100€ par tonne de CO2 émise. Ce chiffre a été choisi sur base de l'analyse des prévisions du prix carbone faite par M. Dimitrova. En regroupant les prévisions de plusieurs bureaux d'étude et de data centre, elle est parvenue à un prix moyen de 100€/tonne de CO2 émis pour 2026. (M. Dimitrova Homaio, 2024) 2026 étant l'année de début de taxation, il m'a paru pertinent de calculer l'augmentation des prix quand la taxe devient effective.

[11] Annexe 2

Toutes ces informations ont été utilisées dans la formule suivante pour trouver :

$$P_{CBAM} = \frac{CO2}{1000} * CBAM$$

Où,

P_{CBAM} : prix d'émission de CO2 par dollar de bien exporté vers l'Europe.

CO2 : La quantité en kg de CO2 émise par dollar de bien exporté

CBAM: Le prix d'une tonne de carbone émise (108 USD)

P_{CBAM} varie en fonction de l'intensité carbone de la production des pays. Si le pays émet plus de CO2 lors de sa production, le prix sera plus haut. Par manque d'information ce prix ne sera pas exactement utilisé dans la suite de la recherche. Aucune information concernant la provenance de l'acier et fer et d'aluminium utilisé dans chaque industrie n'a été trouvée. Pour cette raison la moyenne pondérée du prix d'émission (p_{CBAM}) sera utilisée pour définir l'augmentation des coûts des industries. La moyenne pondérée permet de donner d'avantage d'importance aux pays qui exportent plus et par conséquent donner plus de poids dans la moyenne à leur quantité d'émission de CO2 par la production des biens visés. Le prix moyen d'émission de CO2 émis par dollar de bien exporté vers l'Europe est 0,063 USD pour l'acier et le fer et est d'une hauteur de 0,019 USD pour l'aluminium. Les plus grands exportateurs d'aluminium vers l'Europe ont une production relativement verte ce qui explique que la moyenne du prix d'émission soit si basse. Pour l'acier et le fer, le prix est un peu plus haut car bien que certains gros exportateurs soient relativement verts dans leur production, d'autres (comme l'inde : 2,01 kg d'émissions de CO2 par dollar d'exportation) ne le sont pas du tout, ce qui tire le prix des émissions vers le haut.

Enfin, pour les dernières données nécessaires, une base de données américaines a été utilisée. La base de données du bureau of economic analyses (BEA) donne la répartition des coûts de production pour chaque industrie, c'est-à-dire qu'elle répertorie la valeur d'achat de la quantité nécessaire pour la production de l'industrie. La base de données est américaine car les données américaines sont plus complètes que celles de l'Europe. Le degré de précision des Américains est nécessaire pour répondre à la question de recherche. De plus l'utilisation des données américaines pour des recherches sur d'autres nations est assez courantes. Pour trouver les coûts d'acier et fer et d'aluminium venant de pays hors-Europe dans la production

de biens européens dans cette base de données, quelques manipulations ont été faites. Dans un premier temps, les coûts totaux des produits d'acier et fer visés par le MACF et les coûts totaux d'aluminium visés par le MACF ont été calculés. Grâce à ces totaux, nous avons pu calculer la proportion de ces coûts dans les coûts totaux des industries. Les parts des 20 industries dont la part des coûts allouée à l'achat d'acier et fer est la plus grande se situent entre 22,87% (Farm machinery and equipment manufacturing) et 58,23% (steel product manufacturing from purchased steel). Pour l'aluminium, ces mêmes parts se situent entre 5,69% (Boat building) et 66,13% (Aluminium product manufacturing from purchased aluminium).

Dans les quantités d'acier et fer et d'aluminium utilisées par les différentes industries, nous avons cherché la proportion qui vient directement d'Europe et celle qui est importée depuis l'étranger. Pour obtenir la proportion de d'acier et fer et d'aluminium provenant de pays extra-européens dans la part d'acier et fer et d'aluminium utilisée Europe, nous avons utilisé les données de Prodcom et de Comext[12]. Prodcom a fourni la production totale européenne des produits métalliques visés en Europe et Comext a fourni les exportations et importations de ces mêmes produits entre l'Europe et les pays hors Europe. Le calcul suivant a été réalisé afin de trouver quelle part des métaux utilisés provient de l'étranger :

$$PROPIMP = \frac{IMP}{(PRODEU - EXP + IMP)}$$

Où,

PROPIMP : proportion d'acier et fer ou d'aluminium dans la quantité totale utilisée de ces mêmes métaux en Europe.

IMP : La valeur d'acier et fer ou d'aluminium total importée en Europe depuis des pays non-européen.

PRODEU : La valeur d'acier et fer ou d'aluminium produite en Europe.

EXP : La valeur d'acier et fer ou d'aluminium exportée depuis l'Europe vers des pays non-européen.

[12] Les données de commerce de Prodcom et Comext sont les données de 2020. Avant cette année-là, les données nécessaires n'existent pas.

Grâce à ces deux données nous pouvons trouver la proportion de l'acier et fer et d'aluminium provenant de l'étranger dans les industries européennes. En ce qui concerne l'acier et le fer, 16,5% d'acier et fer utilisé en Europe provient de pays extérieurs à l'Europe.[13] La taxe ne sera appliquée qu'à 1/5 du total d'acier et fer utilisé. L'augmentation des prix dans les industries ne sera pas trop importante. Pour l'aluminium, cette part est plus grande, 38,5% de l'aluminium est importé depuis des pays non-européens. Presque 2/5 de la quantité d'aluminium utilisée en Europe va être impactée par le MACF. L'augmentation des coûts de production des industries utilisant de l'aluminium va être relativement important.

Avec les données récupérées, le coût de carbone lié au MACF peut-être calculé. Ce coût a été calculé avec la formule suivante :

$$PCO2_{imp} = (V * PROPIMP) * p_{CBAM}$$

Où,

$PCO2_{imp}$: Le prix carbone des importations.

V : Le coût total d'acier et fer ou d'aluminium dans la production.

PROPIMP : Le proportion d'acier et fer ou d'aluminium importée en Europe depuis des pays non européens.

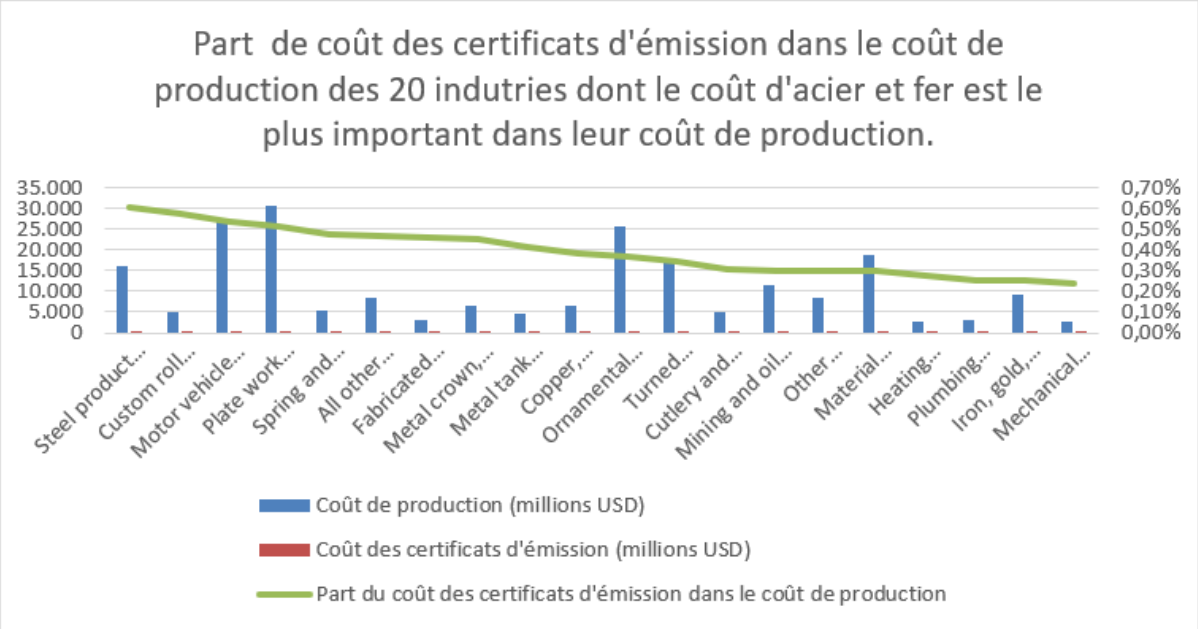
p_{CBAM}: La moyenne pondérée du prix d'émission de CO2 par dollar de bien exporté vers l'Europe.

Le prix carbone des importations d'acier et de fer dans les 20 industries dont, la part des coûts de production alloué à l'acier et au fer est la plus importante, se situe entre 6,63 millions USD (Mechanical power transmission equipment manufacturing) et 97,85 millions USD (steel product manufacturing from purchased steel). En ajoutant ces prix carbones au coût de l'acier et du fer, les coûts de production initiaux des industries passent de 638 millions USD à 644,63 millions USD (Mechanical power transmission equipment manufacturing) et, pour l'industrie dont la part d'achat en acier et fer et la plus importante dans son coût de production, de 9412 millions USD à 9509,85 millions USD. Le coût de l'acier augmente de 1,04%. L'augmentation

[13] Ce chiffre est cohérent avec ce que nous trouvons sur le site de Worldsteel. L'Europe importe 35,6 millions de tonnes de produits d'acier et ferraille depuis des pays non-européens et consomme 219,1 millions de tonnes de produits en acier et de fonte brute. La proportion d'acier utilisé en Europe venant de l'étranger selon worldsteel est de 16,25%. (Worldsteel, 2022)

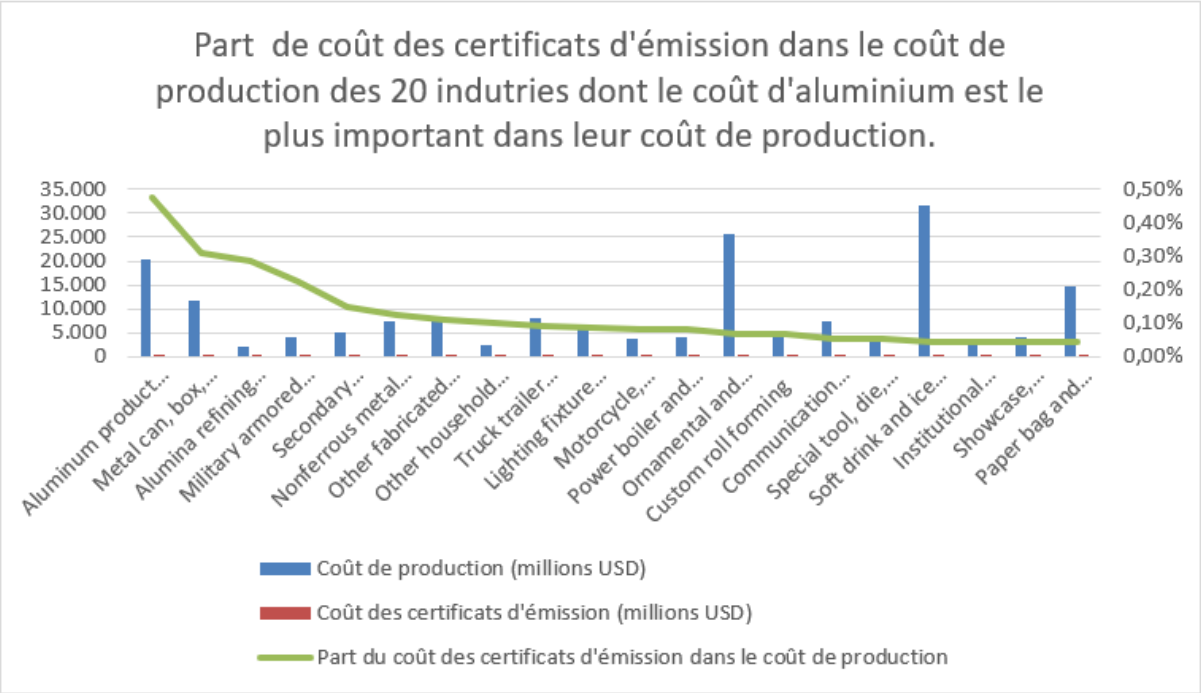
du prix de l'acier et du fer en proportion gardées dans les coûts totaux des industries est très faible. Pour les 20 mêmes industries, l'augmentation des coûts est de 0,24 % et 0,61%.

Graphique 5 : Part des coûts des certificats d'émissions dans le coût de production.



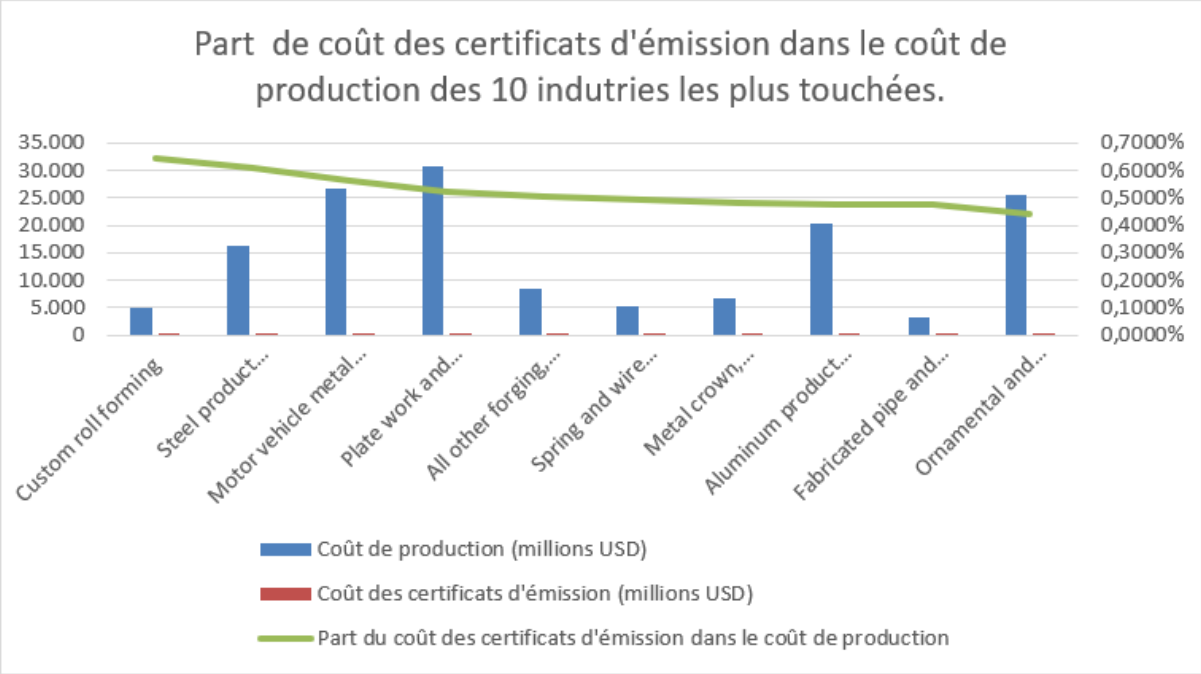
En ce qui concerne l'aluminium, l'augmentation de prix est moins importante. Pour les 20 industries dont la part des coûts allouée à l'achat de produit en aluminium est la plus grande, l'augmentation des coûts se situe entre 6,27 millions USD (Paper bag and coated and treated paper manufacturing) et 97,11 millions USD (Aluminium product manufacturing from purchased aluminium). Ces augmentations font passer les prix de l'aluminium de 872 millions USD à 878,27 millions USD (Paper bag and coated and treated paper manufacturing) et de 13504 millions USD à 13601,12 millions USD (Aluminium product manufacturing from purchased aluminium). Le MACF fait augmenter les prix de l'aluminium de 0,72%. Proportionnellement au coût de production total, l'augmentation du prix d'aluminium augmente les coûts de production de 0,48% (Aluminium product manufacturing from purchased aluminium) à 0,04% (boat building), toujours pour les mêmes industries.

Graphique 6 : Part des coûts des certificats d'émissions dans le coût de production.



Au total, les 10 industries les plus touchées par l'augmentation des prix d'acier et fer et d'aluminium subissent une augmentation qui varie entre 0,64% (Custom roll forming) et 0,44% (Ornemental and architectural metal products manufacturing).

Graphique 7 : Part des coûts des certificats d'émissions dans le coût de production.



2.2. Résultats

Les résultats obtenus lors de mes recherches indiquent un changement de prix très faible dans le domaine métallurgique. L'augmentation du prix de l'acier et du fer (1,04%), dans le pire des cas ne fait augmenter le coût de production que de 0,61% à proportion gardée. L'aluminium, dont le prix augmente de 0,72%, le prix de production augmentera de maximum 0,44% à proportion gardée. Au total, l'augmentation des prix des deux biens n'augmente le prix des biens européens que de moins de 1%. Le détail pour les 10 industries les plus touchées ce trouve dans le tableau 2.

Tableau 2 : tableau récapitulatif de l'impact du MACF à proportion gardée sur le coût de production des 10 industries les plus touchées.

Industries	Coût de production (en milliers USD)	Prix total des certificats MACF (en milliers USD)	Augmentation du coût de production suite au MACF (en %)
Custom roll forming	4.914	32,27	0,64%
Steel product manufacturing from purchased steel	16.165	101,22	0,61%
Motor vehicle metal stamping	26.731	153,57	0,56%
Plate work and fabricated structural product manufacturing	30.718	165,66	0,52%
All other forging, stamping, and sintering	8.434	43,31	0,50%
Spring and wire product manufacturing	5.403	27,24	0,49%
Metal crown, closure, and other metal stamping (except automotive)	6.626	32,59	0,48%
Aluminum product manufacturing from purchased aluminum	20.420	97,72	0,48%
Fabricated pipe and pipe fitting manufacturing	3.159	15,39	0,47%
Ornamental and architectural metal products manufacturing	25.612	114,75	0,44%

En tenant compte du taux de répercussion mentionné dans le point 1.7.1. de la partie I, l'augmentation des prix en fonction du pays d'exportation augmente plus que proportionnellement ou non. Les principaux exportateurs d'acier et fer et d'aluminium ont plus généralement un taux de répercussion positif. Ces taux restent cependant bas avec un maximum de 1,23. De plus, pour les deux types de bien, l'exportateur principal (la Chine) a un

taux de répercussion inférieur à 1. Le tableau 3 donne les taux de répercussion des principaux pays exportateur. N'ayant pas trouvé le taux de répercussion du Brésil et de la Turquie, ces pays ne sont pas repris dans le tableau.

Tableau 3 : tableau récapitulatif des taux de répercutions des principaux exportateurs d'acier et fer et d'aluminium.

Type de bien	Pays d'exportation	Valeur de l'exportation (milliers USD)	Taux de répercussion
Acier et fer	Chine	7.779.845,5	0, 86
	Russie	5.861.782	1,14
	Royaume-Uni	5.044.436	1,23
	Inde	4.176.358,25	0,96
Aluminium	Chine	2.312.438	0, 86
	Royaume-Uni	1.061.476	1,23
	Etats-Unis	836.006,13	1,19
	Russie	648.706,88	1,14

Si nous calculons la moyenne pondérée des taux de répercussion des exportateurs les plus importants pour l'acier et le fer, le taux de répercussion est de 1,031 et celui de l'aluminium est de 1,035. Ces taux sont très légèrement positifs, ce que veut dire que le prix de l'acier et fer et de l'aluminium augmentera très légèrement plus que son coût de production. L'augmentation des prix reste bas et n'augmente pas beaucoup plus le coût de production des industries européennes que celui des industries en amont.

Les pays de l'Union Européenne ont quant à eux, un taux de répercussion négatifs. Le prix supplémentaire qu'ils devront payer à cause de la hausse de prix de leurs inputs ne se répercutera qu'à un taux de 0,75. In fine, en tenant compte du taux de répercussion des industries en amont et des industries européennes, le prix des biens augmenterait légèrement moins que proportionnellement. En multipliant les taux de répercussion, nous obtenons un taux de répercussion pour les produits finaux de 0,7725. Si on regarde l'industrie la plus touchée par l'augmentation du prix de l'acier et fer et de l'aluminium, son prix n'augmentera qu'environs de 0,64%*0,7725, ce qui donne une augmentation de prix de 0,50%. La plus

grosse augmentation de prix dans les produits européens est très faible et ne dépasse pas le demi-pourcent.

Pour savoir si ces faibles augmentations ont des répercussions importantes sur la compétitivité de l'Europe, il faut regarder l'élasticité du marché. Est-ce qu'une augmentation du prix de moins d'un pourcent diminuera les quantités échangées entre l'Europe et le reste du monde et est-ce que cette diminution sera problématique pour l'Europe ? Les secteurs HS-1 touchées par le MACF sont : Base metals and articles of base metals (secteur XV), Machinery, mechanical appl., electrical machinery (secteur XVI), Véhicules, Aircraft and transport equipment (secteur XVII), Optical, photographic and medical instruments (secteur XVIII), Arms and ammunitions (secteur XIX) et Miscellaneous (secteur XX). Les élasticités de ces secteurs sont entre -4,82 et -10,46. (Fontagné et al., 2022) En regardant le pourcentage d'augmentation de prix des biens produits en Europe et en le multipliant par l'élasticité, la perte de marché des industries européennes peut être observée.

Tableau 4 : Perte de marché des 10 industries les plus touchées par le MACF

Industries	Secteur HS-1	Augmentation de prix (%)	L'élasticité	Perte de marché
Custom roll forming	XV	0,50%	-9,59	4,80%
Steel product manufacturing from purchased steel	XV	0,47%	-9,59	4,58%
Motor vehicle metal stamping	XVII	0,43%	-10,46	4,58%
Plate work and fabricated structural product manufacturing	XV XVII XVI XX	0,40%	-9,59 -10,46 -6,08 -4,85	3,90% 4,26% 2,47% 1,97%
All other forging, stamping, and sintering	XV	0,39%	-9,59	3,76%
Spring and wire product manufacturing	XV XVI	0,38%	-9,59 -6,08	3,68% 2,33%
Metal crown, closure, and other metal stamping (except automotive)	XV	0,37%	-9,59	3,61%
Aluminum product manufacturing from purchased aluminum	XV XVI XIX	0,37%	-9,59 -6,08 -6,52	3,61% 2,27% 2,45%
Fabricated pipe and pipe fitting manufacturing	XV XVIII	0,36%	-9,59 -5,61	3,53% 2,06%
Ornamental and architectural metal products manufacturing	XV XVII	0,34%	-9,59 -10,46	3,31% 3,61%

1.L'augmentation de prix dans le tableau est calculée avec l'augmentation de prix à proportion gardée et le taux de répercussion total. 2.certaines industries produisent des biens qui se trouvent dans différents secteur HS-1.

L’industrie qui perd la plus grosse part de marché est celle de custom roll forming avec une perte de 4,80%. Il faut cependant garder à l’esprit que ces résultats se basent sur l’hypothèse que les industries européennes continuent à se procurer en acier et fer et en aluminium à l’étranger. Le taux de substituabilité de l’acier et fer et de l’aluminium entre l’étranger et les produits domestiques n’a pas été pris en compte dans cette analyse. Le chiffres repris dans le tableau 4 sont les pertes maximales que les industries pourraient subir.

Pour savoir si ces pertes sont significatives et problématiques pour les industries, d’autres recherches doivent être faites. L’impact d’une perte de marché dépend entre autres de la marge bénéficiaire de l’industrie, du seuil de rentabilité, de la concurrence et parts de marché ou encore de la capacité de réduction de coûts de l’industrie.

Conclusion

Dans ce mémoire nous avons essayé de comprendre la nouvelle mesure que l'Union Européenne est en train de mettre en place pour atteindre son objectif de 2050 : être le premier continent à atteindre la neutralité carbone. Cette nouvelle mesure qui est le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières, fonctionne sur le principe du pollueur-payeur. Les pays tiers, c'est-à-dire les pays qui ne font pas partie de l'Union Européenne, doivent acquérir des certificats d'émission carbone pour chaque tonne de CO2 émise lors de la production du bien entrant sur le territoire douanier de l'UE. Les produits visés par cette mesure sont : l'aluminium, l'acier et le fer, le ciment, les engrais, l'hydrogène et l'électricité. Ces produits étant des produits intermédiaires, font augmenter les coûts de production des industries qui les achètent. Les produits finis fabriqués en Europe sont alors potentiellement plus chers que ceux produits hors Union car ils ne doivent pas payer de certificats d'émissions. Cette différence de prix, si elle est grande, peut avoir un impact négatif pour les industries européennes en leur faisant perdre en compétitivité. Les acheteurs pourraient être tentés d'acheter les produits dans les pays tiers plutôt qu'en Europe et l'initiative de l'UE, pour réduire les émissions de GES et de rendre l'Europe à nouveau compétitive, serait alors inefficace. Ce que nous avons essayé de mesurer dans ce mémoire est dans quelle proportion les prix des biens produits en Europe augmentent. Nous nous sommes concentrés sur les produits en aluminium et les produits en acier et fer car les risques de substitution en aval sont importants.

Le prix des quotas augmente le coût de production de l'acier et du fer de 1,04% et celui de l'aluminium de 0,72% à proportion gardée. L'industrie européenne la plus touchée par ces augmentations de coûts en Europe est celle de custom roll forming, son coût augmente de 0,64%. En tenant compte du taux de répercussion, qui est en moyenne supérieur à 1 pour les industries en amont et à 0,75 pour les industries européennes, l'augmentation des prix des produits finis européens n'atteint que 0,50%. L'augmentation des prix est donc très limitée et l'impact que celle-ci va avoir pour les industries européennes dépendra entre autres de l'élasticité du marché.

Les industries touchées par l'augmentation des prix de l'acier et fer et de l'aluminium ont des élasticités comprises entre -4,82 et -10,46. Ces élasticités multipliées par la faible

augmentation des prix reviennent à une perte d'échange limitée. La perte de marché pour l'industrie de custom roll forming (industrie la plus impactée) n'atteint que 4,80%. Il faut bien garder à l'esprit que cette perte de marché est la perte maximum que peut subir l'industrie car nous n'avons pas pris l'élasticité des produits en amont en compte.

Pour déterminer et analyser ce que représente cette perte, plus de recherches sont nécessaires.

Bibliographie

Ambec S. & Esposito F. & Pacelli A. (2024) *The economics of carbon leakage mitigation policies*. Journal of Environmental Economics and Management, Volume 125, 102973, ISSN 0095-0696,

Ben-David I, Jang Y, Kleimeier S, Viehs M. (2021*). Exporting pollution: Where do multinational firms emit CO2?*. Econ. Policy 36:107377–437;

Böning, J., Di Nino, V., & Folger, T. (2023). *Benefits and Costs of the ETS in the EU, a Lesson Learned for the CBAM Design*. Social Science Research Network.

Boursorama.com. (s. d.).

Carles D. (21 novembre 2022). COP27 : *l'objectif de limiter le réchauffement climatique à 1,5°C préservé*. Ministre de la transition écologique et de la cohésion des territoires.

Colmer J, Martin R, Muûls M, Wagner U. (2022). *Does pricing carbon mitigate climate change? Firm-level evidence from the European Union Emissions Trading Scheme Discuss*. Pap. 16982 Cent. Econ. Policy Res.

Commission Européenne. (2024). *Conséquences du changement climatique*. Energie, Changement climatique, environnement

Commission Européenne. (2024). *Les causes du changement climatique*. Commission européenne ; Energie, changement climatique, environnement.

Commission Européenne. (2024*). Le pacte vert pour l'Europe*. Commission européenne, aspects stratégiques et politiques, priorité, le pacte vert pour l'Europe.

Commission Européenne. (2024). *Mise en œuvre du pacte vert pour l'Europe*. Commission européenne, aspects stratégiques et politiques, société.

Commission Européenne. (2024). *Commission welcomes completion of key « key for 55 » legislation, putting EU on track to exceed 2030 targets*. Commission européenne, press corner.

Commission Européenne. (2024). *Phase 1 et 2 (2005-2021)*. Commission européenne, UE action, système d'échange de quotas d'émission de l'Europe (SEQE-EU).

Dechezleprêtre A, Sato M. (2017). *The impacts of environmental regulations on competitiveness*. Rev. Environ. Econ. Policy 11:2183–206

Demailly D, Quirion P (2006). *Leakage from climate policies and border-tax adjustment: lessons from a geographic model of the cement industry*. HAL open science;

Demailly, D., & Quirion, P. (2008). *European Emission Trading Scheme and competitiveness : A case study on the iron and steel industry*. Energy Economics, 30(4), 2009-2027.

Eur-Lex. (2024). *DIRECTIVE 2003/87/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL*

du 13 octobre 2003 établissant un système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre dans la Communauté et modifiant la directive 96/61/CE du Conseil.

Eur-Lex. (2024). *Règlement délégué (UE) 2023/2830 de la Commission du 17 octobre 2023 complétant la directive 2003/87/CE du Parlement européen et du Conseil par l'établissement de règles relatives au calendrier, à la gestion et à d'autres aspects de la mise aux enchères des quotas d'émission de gaz à effet de serre.*

Eur-Lex. (2024). *RÈGLEMENT D'EXÉCUTION (UE) 2023/1773 DE LA COMMISSION du 17 août 2023 portant modalités d'application du règlement (UE) 2023/956 du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne les obligations de déclaration aux fins du mécanisme d'ajustement carbone aux frontières pendant la période transitoire.*

Fontagné L, Guimbard H, Orefice G. (2022). *A new dataset on product-level trade elasticities*. Data in Brief, 45, 108668.

Fontagné, L., Guimbard, H., & Orefice, G. (2022). *Tariff-based product-level trade elasticities*. Journal Of International Economics, 137, 103593.

Fontagné L. & Schubert K. (2023*). The economics of border carbon adjustment: Rationale and impacts of compensating for carbon at the border*. Annual Review of Economics, 15, 389-424.

Fouré J. & Monjon S. (2013). *Les fuites de carbone, mythe ou réalité ?. Le Blog du CEPII*. (s. d.).

Fourreau V. (2023*). Vers une intensification des catastrophes naturelles ?*. Statista, société, Géographie et environnement.

Fowlie ML, Reguant M. (2022). Mitigating emissions leakage in incomplete carbon markets. J. Assoc. Environ. Resour. Econ. 9(2), 2307-43.

Gautier M. (2023). *Les catastrophe naturellesdans le monde – faits et chiffres*. Staista, société, Géographie et environnement.

Gaulier G. & Zignago S. (2024). *Baci: international trade database at the product-level*. The 1994-2007 version. CEPII

Hillberry, R., & Hummels, D. (2013). *Trade Elasticity Parameters for a Computable General Equilibrium Model*. Handbook of computable general equilibrium modelling, 1, 1213-1269

Investopedia team, I. (2024). *Price Elasticity of Demand : Meaning, Types, and Factors That Impact It.* Investopedia.

Kuik O, Hofkes M. 2010. *Border adjustment for European emissions trading: competitiveness and carbon leakage*. Energy Policy, 38(4), 1741–1748;

Marcu A. & Mehling M. & Cosbey A. & Maratou A. (2021). *Addressing carbon leakage in the EU: Making CBAM work in a portfolio of measures*. ERCT European roundtable on climate change and sustainable transition.

Misch F, Wingender P. (2021). *Revisiting carbon leakage*. Work. Pap. 2021/107 Int. Monet. Fund Washington, DC ;

Naegele H, Zaklan A. (2019). *Does the EU ETS cause carbon leakage in European manufacturing?*. Journal of Environmental Economics Managagment, 93, 125–147

Parlement européen. (2024). *Qu'est-ce que la neutralité carbone et comment l'atteindre d'ici 20250.* Parlement européen, thèmes, climat et environnement, changement climatique.

Parlement européen. (2024).*Le système d'échange de quotas d'émission et sa réforme.* Parlement européen, thèmes, climat et environnement, changement climatique.

Parlement européen. (2024). *Fit for 55 package under the european green deal.* Parlement européen, Legislative train schedule.

Quirion, P., & Hourcade, J. C. (2004). *Does the CO2 emission trading directive threaten the competitiveness of European industry? Quantification and comparison to exchange rates fluctuations*. EAERE Conference, June 2004, Hungary. HAL open science.

Ritchie H. & Rosado P. (2020). *Energy Mix.* OurWorldInData.org.

Yang, C., & Yan, X. (2023). *Impact of carbon tariffs on price competitiveness in the era of global value chain*. Applied Energy, 336, 120805.

World Bank Group. (2023). *Relative CBAM Exposure Index*. World Bank, Data/Interactive.

worldsteel. (2022). *World Steel in Figures 2021 - worldsteel.org*. Worldsteel association.

Zhong, J., & Pei, J. (2022*). Beggar thy neighbor ? On the competitiveness and welfare impacts of the EU's proposed carbon border adjustment mechanism*. Energy Policy, 162, 112802.

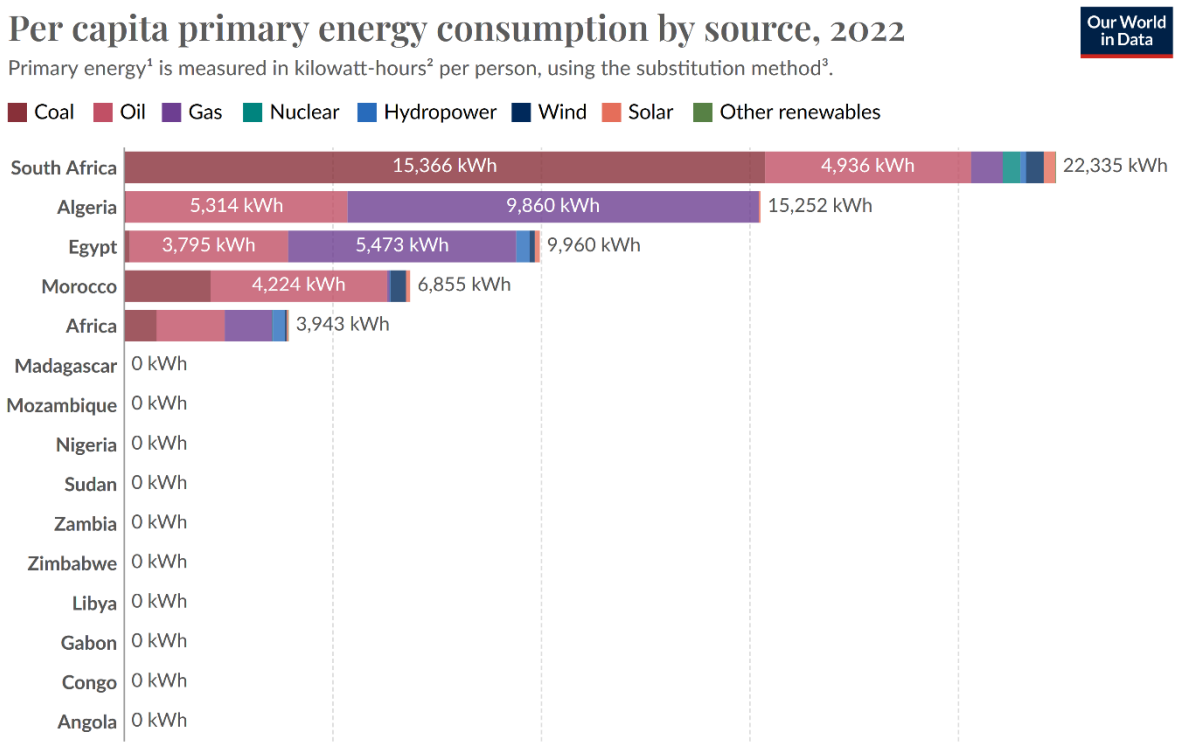
Annexe

[1] Lois et propositions de la Commission pour le fit for 55 :

- Utilisation de carburants maritimes durables
- Utilisations de carburants d'aviation durables
- Mécanisme d'ajustement carbone aux frontières dans le cadre du pacte vert pour l'Europe
- Révision de la directive sur l'efficacité énergétique
- Modification du règlement sur les émissions et les absorptions de GES provenant de l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie.
- Révision de la directive sur les énergies renouvelables
- Révision de règlement sur la répartition de l'effort
- Révision des normes de performance en matière d'émissions de CO2 pour les voitures et les camionnettes, dans le cadre du Pacte vert pour l'Europe
- Révision du système d'échange de quotas d'émission (SEQE) de l'UE
- Révision de la directive sur le déploiement d'infrastructures pour carburants alternatifs
- Révision du système d'échange de quotas d'émission de l'UE pour l'aviation, dans le cadre du pacte vert de l'Europe
- Révision de la réserve de stabilité de marché du SEQE-UE dans le cadre du pacte vert pour l'Europe
- Fonds social pour le climat
- Notification relative au programme de compensation et de réduction des émissions de carbone pour l'aviation internationale (CORSIA)
- Révision de la directive sur la taxation de l'énergie (ETD)
- Révision de la directive sur la performance énergétique des bâtiments
- Réduire les émissions de méthane dans le secteur de l'énergie
- Révision de la directive européenne sur le gaz
- Révision du règlement de l'UE sur le gaz[14]

[2] Mix énergétique des régions du monde

1) mix énergétique de l'Afrique.



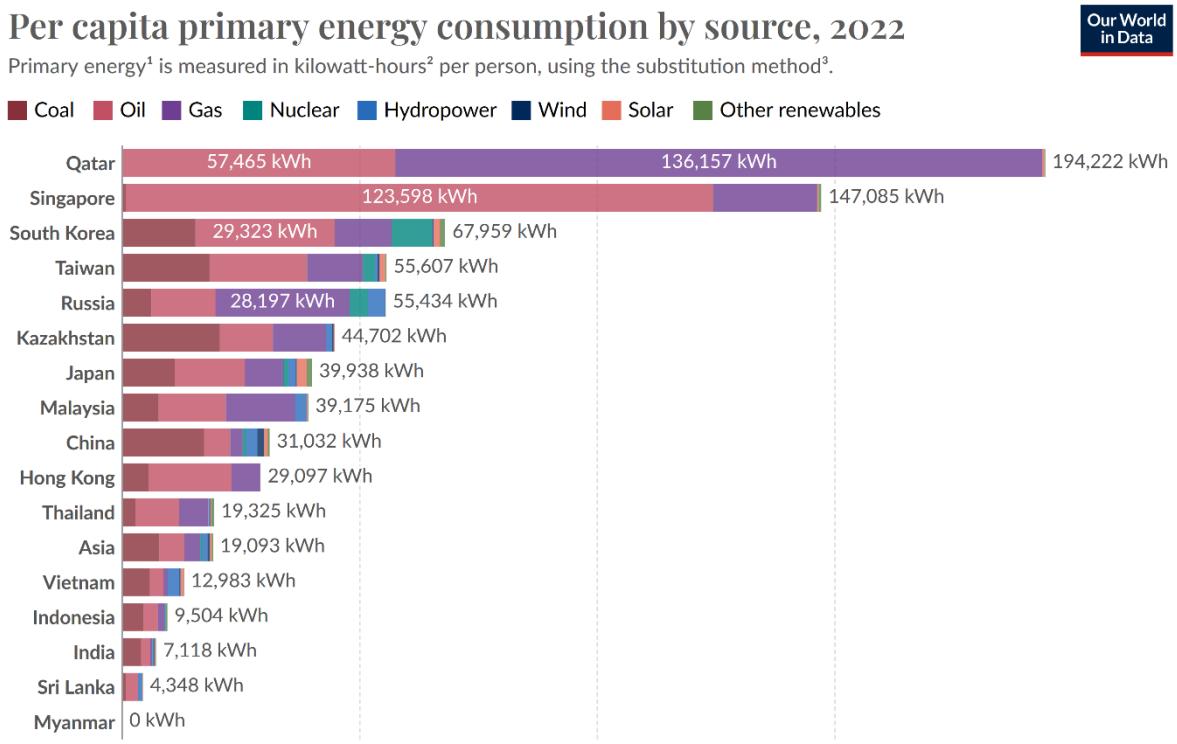
Data source: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2023); Population based on various sources (2023)
OurWorldInData.org/energy-mix | CC BY

1. Primary energy: Primary energy is the energy available as resources – such as the fuels burnt in power plants – before it has been transformed. This relates to the coal before it has been burned, the uranium, or the barrels of oil. Primary energy includes energy that the end user needs, in the form of electricity, transport and heating, plus inefficiencies and energy that is lost when raw resources are transformed into a usable form. You can read more on the different ways of measuring energy in our article.

2. Watt-hour: A watt-hour is the energy delivered by one watt of power for one hour. Since one watt is equivalent to one Joule per second, a watt-hour is equivalent to 3600 Joules of energy. Metric prefixes are used for multiples of the unit, usually: - kilowatt-hours (kWh), or a thousand watt-hours. - Megawatt-hours (MWh), or a million watt-hours. - Gigawatt-hours (GWh), or a billion watt-hours. - Terawatt-hours (TWh), or a trillion watt-hours.

3. Substitution method: The 'substitution method' is used by researchers to correct primary energy consumption for efficiency losses experienced by fossil fuels. It tries to adjust non-fossil energy sources to the inputs that would be needed if it was generated from fossil fuels. It assumes that wind and solar electricity is as inefficient as coal or gas. To do this, energy generation from non-fossil sources are divided by a standard 'thermal efficiency factor' – typically around 0.4 Nuclear power is also adjusted despite it also experiencing thermal losses in a power plant. Since it's reported in terms of electricity output, we need to do this adjustment to calculate its equivalent input value. You can read more about this adjustment in our article.

2) mix énergétique de l'Asie.



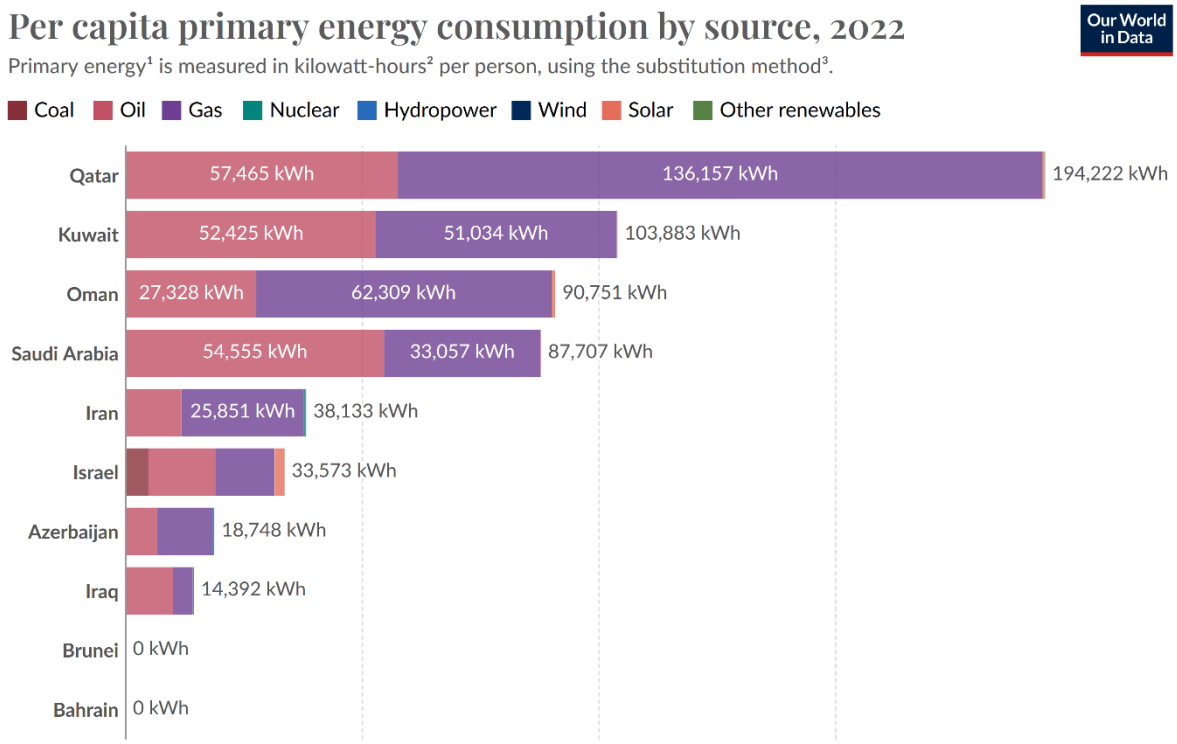
Data source: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2023); Population based on various sources (2023)
OurWorldInData.org/energy-mix | CC BY

1. Primary energy: Primary energy is the energy available as resources – such as the fuels burnt in power plants – before it has been transformed. This relates to the coal before it has been burned, the uranium, or the barrels of oil. Primary energy includes energy that the end user needs, in the form of electricity, transport and heating, plus inefficiencies and energy that is lost when raw resources are transformed into a usable form. You can read more on the different ways of measuring energy in our article.

2. Watt-hour: A watt-hour is the energy delivered by one watt of power for one hour. Since one watt is equivalent to one Joule per second, a watt-hour is equivalent to 3600 Joules of energy. Metric prefixes are used for multiples of the unit, usually: - kilowatt-hours (kWh), or a thousand watt-hours. - Megawatt-hours (MWh), or a million watt-hours. - Gigawatt-hours (GWh), or a billion watt-hours. - Terawatt-hours (TWh), or a trillion watt-hours.

3. Substitution method: The 'substitution method' is used by researchers to correct primary energy consumption for efficiency losses experienced by fossil fuels. It tries to adjust non-fossil energy sources to the inputs that would be needed if it was generated from fossil fuels. It assumes that wind and solar electricity is as inefficient as coal or gas. To do this, energy generation from non-fossil sources are divided by a standard 'thermal efficiency factor' – typically around 0.4 Nuclear power is also adjusted despite it also experiencing thermal losses in a power plant. Since it's reported in terms of electricity output, we need to do this adjustment to calculate its equivalent input value. You can read more about this adjustment in our article.

3) mix énergétique du Moyen-Orient.



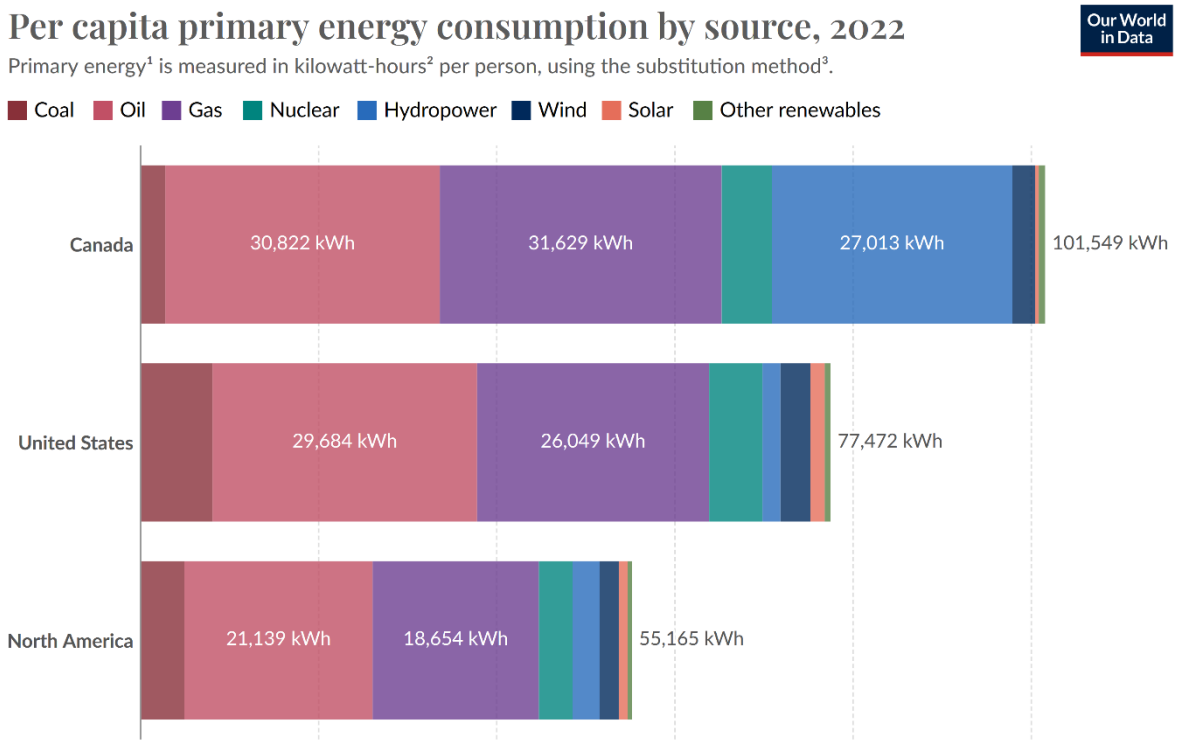
Data source: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2023); Population based on various sources (2023)
OurWorldInData.org/energy-mix | CC BY

1. Primary energy: Primary energy is the energy available as resources – such as the fuels burnt in power plants – before it has been transformed. This relates to the coal before it has been burned, the uranium, or the barrels of oil. Primary energy includes energy that the end user needs, in the form of electricity, transport and heating, plus inefficiencies and energy that is lost when raw resources are transformed into a usable form. You can read more on the different ways of measuring energy in our article.

2. Watt-hour: A watt-hour is the energy delivered by one watt of power for one hour. Since one watt is equivalent to one Joule per second, a watt-hour is equivalent to 3600 Joules of energy. Metric prefixes are used for multiples of the unit, usually: - kilowatt-hours (kWh), or a thousand watt-hours. - Megawatt-hours (MWh), or a million watt-hours. - Gigawatt-hours (GWh), or a billion watt-hours. - Terawatt-hours (TWh), or a trillion watt-hours.

3. Substitution method: The 'substitution method' is used by researchers to correct primary energy consumption for efficiency losses experienced by fossil fuels. It tries to adjust non-fossil energy sources to the inputs that would be needed if it was generated from fossil fuels. It assumes that wind and solar electricity is as inefficient as coal or gas. To do this, energy generation from non-fossil sources are divided by a standard 'thermal efficiency factor' – typically around 0.4 Nuclear power is also adjusted despite it also experiencing thermal losses in a power plant. Since it's reported in terms of electricity output, we need to do this adjustment to calculate its equivalent input value. You can read more about this adjustment in our article.

4) mix énergétique de l'Amérique du Nord.



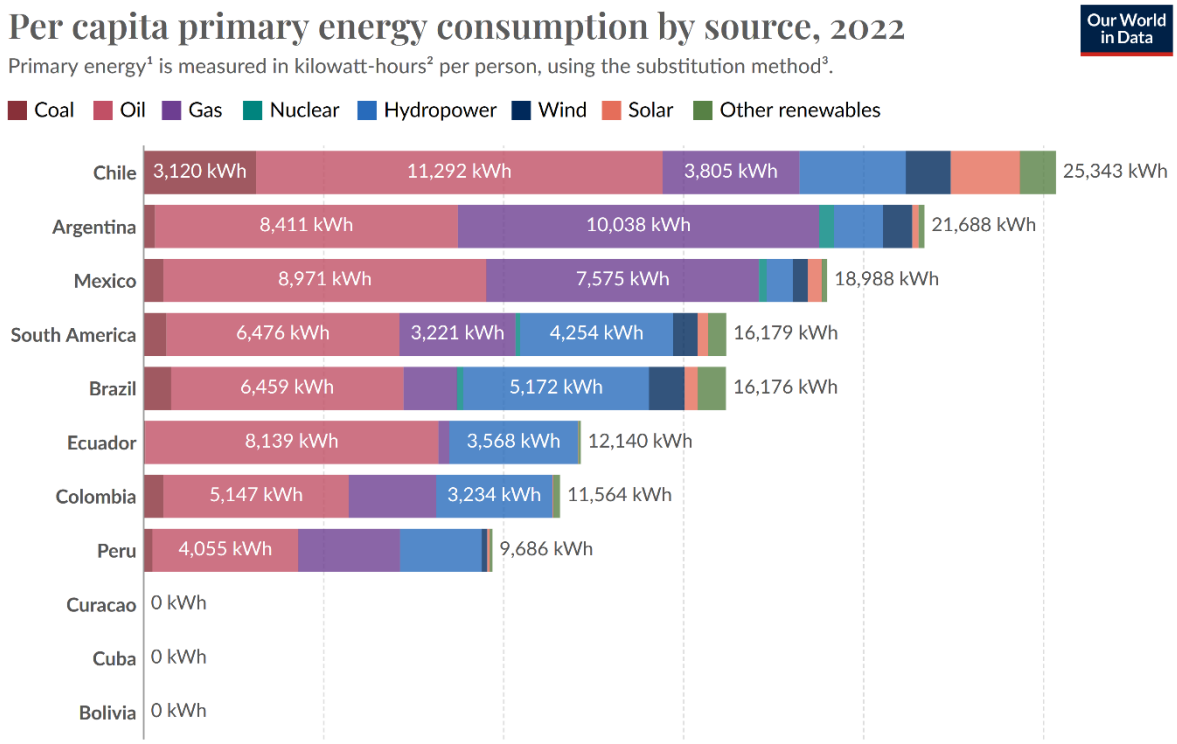
Data source: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2023); Population based on various sources (2023)
OurWorldInData.org/energy-mix | CC BY

1. Primary energy: Primary energy is the energy available as resources – such as the fuels burnt in power plants – before it has been transformed. This relates to the coal before it has been burned, the uranium, or the barrels of oil. Primary energy includes energy that the end user needs, in the form of electricity, transport and heating, plus inefficiencies and energy that is lost when raw resources are transformed into a usable form. You can read more on the different ways of measuring energy in our article.

2. Watt-hour: A watt-hour is the energy delivered by one watt of power for one hour. Since one watt is equivalent to one Joule per second, a watt-hour is equivalent to 3600 Joules of energy. Metric prefixes are used for multiples of the unit, usually: - kilowatt-hours (kWh), or a thousand watt-hours. - Megawatt-hours (MWh), or a million watt-hours. - Gigawatt-hours (GWh), or a billion watt-hours. - Terawatt-hours (TWh), or a trillion watt-hours.

3. Substitution method: The 'substitution method' is used by researchers to correct primary energy consumption for efficiency losses experienced by fossil fuels. It tries to adjust non-fossil energy sources to the inputs that would be needed if it was generated from fossil fuels. It assumes that wind and solar electricity is as inefficient as coal or gas. To do this, energy generation from non-fossil sources are divided by a standard 'thermal efficiency factor' – typically around 0.4 Nuclear power is also adjusted despite it also experiencing thermal losses in a power plant. Since it's reported in terms of electricity output, we need to do this adjustment to calculate its equivalent input value. You can read more about this adjustment in our article.

5) mix énergétique de l'Amérique du Sud.



Data source: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2023); Population based on various sources (2023)
OurWorldInData.org/energy-mix | CC BY

1. Primary energy: Primary energy is the energy available as resources – such as the fuels burnt in power plants – before it has been transformed. This relates to the coal before it has been burned, the uranium, or the barrels of oil. Primary energy includes energy that the end user needs, in the form of electricity, transport and heating, plus inefficiencies and energy that is lost when raw resources are transformed into a usable form. You can read more on the different ways of measuring energy in our article.

2. Watt-hour: A watt-hour is the energy delivered by one watt of power for one hour. Since one watt is equivalent to one Joule per second, a watt-hour is equivalent to 3600 Joules of energy. Metric prefixes are used for multiples of the unit, usually: - kilowatt-hours (kWh), or a thousand watt-hours. - Megawatt-hours (MWh), or a million watt-hours. - Gigawatt-hours (GWh), or a billion watt-hours. - Terawatt-hours (TWh), or a trillion watt-hours.

3. Substitution method: The 'substitution method' is used by researchers to correct primary energy consumption for efficiency losses experienced by fossil fuels. It tries to adjust non-fossil energy sources to the inputs that would be needed if it was generated from fossil fuels. It assumes that wind and solar electricity is as inefficient as coal or gas. To do this, energy generation from non-fossil sources are divided by a standard 'thermal efficiency factor' – typically around 0.4 Nuclear power is also adjusted despite it also experiencing thermal losses in a power plant. Since it's reported in terms of electricity output, we need to do this adjustment to calculate its equivalent input value. You can read more about this adjustment in our article.