

Economics School of Louvain - ESL
Economics School of Namur - ESN

Efficacité du Système d'Échange de Quotas d'Émission de l'Union Européenne (SEQE-UE) et structure de marché

Auteur : Valentin Brasseur

Directeur : Prof. Gonzague Vannoorenberghe

Lecteur : Prof. Lorenzo Trimarchi

Année académique 2022-2023

Master en sciences économiques – 120 crédits – Finalité : Spécialisée

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier l'Université Catholique de Louvain et plus particulièrement l'Economics School of Louvain pour m'avoir donné l'opportunité d'étudier ce master en économie.

Je souhaiterais remercier le Professeur Gonzague Vannoorenberghe pour son accompagnement, ses conseils ainsi que sa flexibilité tout au long du processus de rédaction de ce mémoire.

Je remercie également le Professeur Lorenzo Trimarchi qui a été désigné lecteur de ce mémoire.

Enfin, je remercie chaleureusement ma famille et ma compagne Adèle pour leur soutien sans faille et leur écoute patiente dont ils ont fait preuve tout au long de la rédaction de mon mémoire, et plus largement lors de mon cursus universitaire.

Table des matières

1. Introduction	4
2. Mise en contexte et revue de la littérature.....	6
2.1. Contexte et origines du SEQE-UE	6
2.2. SEQE-UE et développements	7
2.2.1. Naissance du marché du carbone	7
2.2.2. Quatre phases de développement.....	8
2.2.3. Gaz et secteurs compris dans le système	10
2.2.4. Influence de l'Europe en matière de tarification du carbone	10
2.3. Enjeux et limites du système.....	11
2.3.1. Fuites de carbone.....	11
2.3.2. Mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF).....	13
2.4. Raisonnement et explication de la question de recherche	14
2.5. Revue de la littérature	15
3. Méthodologie	17
3.1. Duopole de Cournot.....	17
3.2. Modèle de base	17
3.2.1. Demande inverse	17
3.2.2. Coûts de production	17
3.2.3. Fonction de meilleure riposte	18
3.2.4. Équilibre.....	19
3.3. Équilibre	20
3.4. Coûts d'abattement et émissions unitaires et agrégées.....	21
3.4.1. Coûts d'abattement	21
3.4.2. Émissions unitaires et émissions agrégées.....	22

3.5. Asymétrie de coûts et concentration sectorielle.....	23
3.5.1. Différenciation des coûts variables	23
3.5.2. Parts de marché et concentration sectorielle	23
3.5.3. Lien entre concentration sectorielle et émissions agrégées.....	24
4. Données	26
4.1. Exploration des données	26
4.2. Discussion des données sur base du modèle	29
5. Discussion.....	30
6. Conclusion.....	31
7. Bibliographie	32

1. Introduction

L'urgence mondiale en matière de changement climatique a mis en lumière de manière incontestable la nécessité absolue de développer des mécanismes efficaces pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, qui constituent l'un des principaux moteurs du réchauffement planétaire. Parmi ces mécanismes, le Système d'Échange de Quotas d'Émission de l'Union Européenne (SEQE-UE), depuis son avènement au début du 21^e siècle, s'est érigé en une pierre angulaire pour réguler les niveaux d'émissions dans l'économie, formant ainsi un rempart essentiel dans la lutte contre le dérèglement climatique.

Dans cette optique, mon engagement envers cette problématique cruciale m'a conduit à orienter mes efforts vers la construction d'un cadre théorique qui vise à évaluer en profondeur l'efficacité du système SEQE-UE. Plus spécifiquement, ma démarche de recherche s'articule autour de la question suivante :

*« Efficacité du système d'échange de quotas d'émission de l'Union Européenne (SEQE-UE)
et structure de marché »*

Ce mémoire s'organise en quatre sections agencées dans le but apporter un éclairage complet sur la problématique en question. La première section se consacre à la mise en contexte approfondie du système SEQE-UE, évoquant ses origines, son évolution depuis son instauration ainsi que ses limites. Au sein de cette même section, j'expose les tenants et aboutissants de ma question de recherche, établissant ainsi les fondations conceptuelles nécessaires à la compréhension de la problématique.

La deuxième s'intéresse à la littérature existante, mettant en lumière les principaux résultats et découvertes liés à l'efficacité du système et à ses conséquences.

La troisième section est dédiée au développement d'un modèle de Cournot, élément central de mon cadre théorique. Ce modèle constitue un outil conceptuel crucial pour répondre à ma question de recherche, en exposant les mécanismes régissant l'interaction entre l'efficacité du système SEQE-UE et la structure de marché.

Enfin, la quatrième et dernière section de ce travail se penche sur l'exploration empirique, au travers de l'analyse d'une base de données. Celle-ci est employée pour illustrer et donner corps aux résultats issus du modèle développé dans la section précédente. Ces conclusions,

Introduction

étayées par des données réelles, apportent une perspective davantage concrète à l'ensemble de l'analyse.

Les premiers résultats montrent que l'augmentation de la concentration au sein d'un secteur peut, sous certaines conditions, engendrer une augmentation des émissions totales dans ce secteur. Des facteurs tels qu'une différence marquée de coûts variables, un prix du carbone peu élevé ou encore une faible disparité d'intensité carbone entre les entreprises, peuvent interagir pour façonner les résultats observés. Cette investigation en profondeur cherche à apporter une contribution significative à la compréhension des mécanismes fondamentaux liés à l'efficacité d'un système de régulation des émissions tel que le SEQE-UE.

2. Mise en contexte et revue de la littérature

2.1. Contexte et origines du SEQE-UE

« Les activités humaines, principalement par le biais des émissions de gaz à effet de serre, ont sans équivoque provoqué le réchauffement de la planète, la température à la surface du globe atteignant 1,1 °C au-dessus de 1850-1900 en 2011-2020. Les émissions mondiales de gaz à effet de serre ont continué à augmenter au cours de la période 2010-2019, avec des contributions historiques et actuelles inégales provenant de l'utilisation non durable de l'énergie, de l'utilisation des terres et du changement d'affectation des terres, des modes de vie et des modèles de consommation et de production dans les régions, entre les pays et à l'intérieur de ceux-ci, et entre les individus (degré de confiance élevé). Le changement climatique d'origine humaine a déjà des répercussions sur de nombreux phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes dans toutes les régions du monde. Il en résulte des effets négatifs généralisés sur la sécurité alimentaire et hydrique, la santé humaine, les économies et la société, ainsi que des pertes et des dommages connexes pour la nature et les populations (degré de confiance élevé). Les communautés vulnérables qui ont historiquement le moins contribué au changement climatique actuel sont touchées de manière disproportionnée (confiance élevée). » (Mukherji et al., n.d.)

Ces mots, empruntés au dernier rapport publié par le GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat), soulignent l'urgence et l'importance de mitiger les effets du changement climatique. Il s'agit probablement de l'un des plus gros défis de l'humanité à ce jour. Le monde faisant face à des dérèglements climatiques sans précédent, avec des conséquences de plus en plus présentes (sécheresses, chaleurs extrêmes...), réduire les émissions de gaz à effet de serre, et en particulier le CO₂ constitue l'une des premières choses à faire afin de mitiger les effets du changement climatique sur notre planète.

Dans le monde, presque tous les pays se sont regroupés pour décider d'agir lors de la COP3 organisée à Kyoto au Japon. De ce rassemblement est né le protocole de Kyoto en 1997, accord international visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Le protocole rassemble à ce jour 192 pays dans le monde et établit pour chacun de ces pays des objectifs en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre, par rapport aux niveaux de 1990 (Protocole de Kyoto, 1997).

Sur cette base, l'Union Européenne s'est engagée à créer un instrument politique afin de réduire ses émissions de gaz à effet de serre. Une première version de cet instrument est publiée en 2000 sous forme d'un rapport intitulé *green paper* qui présente les premières idées fondatrices du système d'échange de quotas d'émission qu'on connaît aujourd'hui. En 2003, la « 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 » est adoptée et sera lancée officiellement en 2005 (Parlement européen, & Conseil de l'Union européenne, 2003). Depuis son lancement, quatre phases ont été successivement implantées, apportant à chaque fois des modifications et améliorations.

2.2. SEQE-UE et développements

2.2.1. Naissance du marché du carbone

Le Système d'Echange de Quotas d'Emission de l'Union Européenne (SEQE-UE ou *EU-ETS* en anglais) est basé sur le principe de *cap and trade*. Concrètement, l'Union Européenne fixe un niveau maximum d'émissions de gaz à effet de serre selon les objectifs qu'elle se fixe en termes de réduction des émissions (*cap*) et alloue un certain nombre de permis d'émission aux entreprises des secteurs concernés. Les entreprises qui émettent moins que les quotas qui leur sont alloués peuvent alors revendre leurs permis excédentaires aux entreprises dépassent le quota qui leur est alloué. De ces échanges naît le « marché du carbone », duquel découle un prix caractérisant le droit d'émettre une tonne de carbone, déterminé par la rencontre de l'offre et de la demande sur ce marché.

L'idée de l'Union Européenne est de progressivement réduire le nombre de permis pour atteindre les objectifs fixés en matière de réduction des émissions. Cette diminution des permis alloués fait pression sur les prix de la tonne de carbone qui n'ont cessé d'augmenter. On peut observer ces variations de prix sur la Figure 1. Ce système fournit par conséquent aux entreprises un incitant financier à réduire les émissions dans une optique de réduction des coûts. Ce système permet également de financer, via l'achat de permis, la réduction des émissions des autres entreprises qui arrivent à réduire leurs émissions.

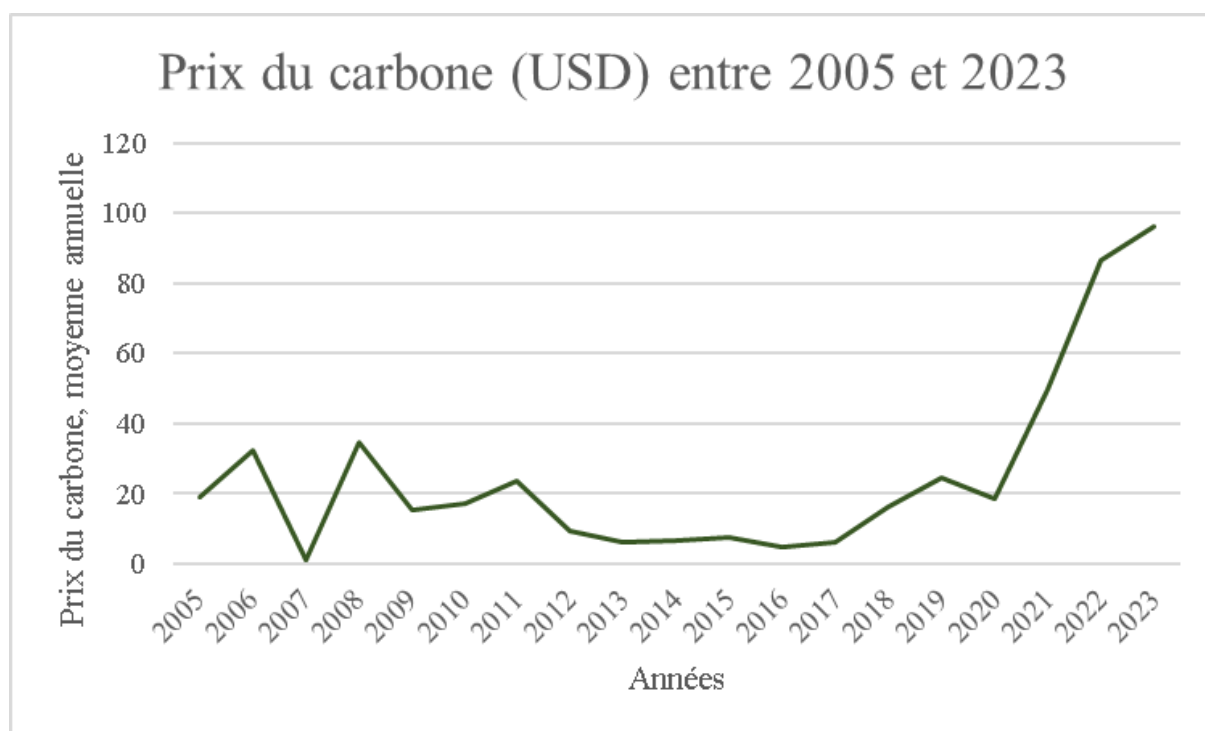


Figure 1. Moyenne annuelle du prix du carbone entre 2005 et 2023, exprimés en USD.

Source : Banque Mondiale

2.2.2. Quatre phases de développement

La première phase (2005-2007) est une phase pilote durant laquelle le nombre de permis d'émissions était calculé sur base d'estimations. Ces estimations étant peu précises par manque de données fiables, cela a engendré une offre de permis supérieure à la demande, exerçant une pression sur le prix de la tonne de carbone qui a alors chuté proche de 0€/tCO₂. Durant cette période, les permis étaient alloués gratuitement et le système ne couvrait que les secteurs très intensifs en énergie et les producteurs d'électricité.

La deuxième phase (2008-2012) a vu une réduction du nombre d'octrois de permis, calculé désormais sur base des données récoltées durant la phase 1. Cependant, la crise de 2008 a provoqué une réduction massive des émissions et un surplus de permis d'émission, exerçant par conséquent une pression à la baisse sur le prix de la tonne de carbone. Durant ces deux premières phases, le *cap* était fixé par chaque pays. Ce point sera corrigé en 2013 lors de la réforme de la phase 3. On peut observer sur la Figure 2 ci-dessous les émissions estimées excédentaires (en jaune) attribués aux entreprises à cause d'une estimation trop élevée des émissions.



Figure 2. Émissions historiques vérifiées (en vert) et émissions historiques estimées (en jaune) entre 2005 et 2022, en millions de tonnes d'équivalent CO₂.

Source : Agence Européenne pour l'Environnement (AEE)

Lors de la troisième phase (2013-2020), le système se base désormais sur un *cap* unique au niveau européen. La réforme lors de cette phase a changé la donne et a été la plus grosse réforme du système. En effet, les permis ne sont désormais plus distribués gratuitement, mais progressivement mis aux enchères, secteur par secteur. Le nombre de permis attribués a également diminué chaque année, exerçant une pression à la hausse sur les prix. Cependant, il faut attendre 2018 et 2019 pour voir les prix augmenter au-dessus de 20€ par tonne en moyenne annuelle.

Lors de cette même phase, il était prévu que 900 millions de quotas voient leur attribution postposée afin de rééquilibrer l'offre et la demande sur le marché à court terme et de réduire la volatilité des prix. Cependant, ces quotas n'ont finalement pas été postposés, mais sont confiés à la *Market Stability Reserve (MSR)* fondée en 2019 afin de gérer les surplus de quotas d'émission ainsi que d'améliorer la résilience du système en ajustant l'offre de permis d'émission aux enchères. Le MSR a également pour but de réduire l'effet « matelas d'eau » (*waterbed effect*), qui désigne une situation dans laquelle une réduction des émissions dans un secteur résulte en une augmentation des émissions dans un autre secteur, lorsque les émissions totales sont limitées. Selon Perino (2018), le MSR ne permet d'atténuer le *waterbed effect* que

dans une perspective de court terme alors que selon Rosendahl (2019), les efforts pour réduire les émissions de gaz à effet de serre doivent s'effectuer dans une perspective de long terme. Selon ce même auteur, les recherches sur le sujet devraient alors plutôt se concentrer sur les évolutions de long terme des émissions plutôt que sur développements immédiats.

La quatrième et dernière phase s'étend de 2021 à 2030 et constitue sans doute la phase la plus ambitieuse. Elle prévoit de réduire les émissions de gaz à effet de serre de 43% par rapport aux niveaux de 2005 afin d'atteindre l'objectif de neutralité climatique pour 2050, y compris l'objectif intermédiaire de réduction des émissions de 55% par rapport à 1990 pour 2030. Elle prévoit également la suppression des quotas alloués gratuitement et la création du Mécanisme d'Ajustement Carbone aux Frontières (MACF), ou *Carbon Border Adjustment Mechanism CBAM* en anglais, qui est une taxe carbone aux frontières de l'UE.

La phase 4 intervient dans le cadre du *European green deal*, adopté en 2021 et dont le lancement fixe des objectifs ambitieux en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre, notamment via un paquet de mesures connues sous le nom de « *fit for 55* ». En effet, le plan prévoit une réduction du *cap* plus importante que celle prévue initialement afin d'atteindre les objectifs fixés, c'est-à-dire une réduction de 62% (contre 43% initialement) des émissions par rapport à 2005, soit une baisse de 4,3% par an (contre 2,2% initialement). Cette réduction plus stricte du *cap*, donc cette diminution de l'offre de quotas sur le marché du carbone, induit mécaniquement une pression à la hausse sur les prix du carbone.

2.2.3. Gaz et secteurs compris dans le système

Actuellement, le système couvre les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) dans les secteurs de la génération d'électricité, les industries intensives en carbone (aciéries, cimenteries, raffineries de pétrole, etc.), le transport aérien dans l'Espace Economique Européen (EEE) et le transport maritime. Le système couvre également les émissions de protoxyde d'azote (N₂O) issues principalement de l'industrie chimique ainsi que les hydrocarbures perfluorés (PFC) issus de la production d'aluminium. Selon l'Agence Européenne de l'Environnement, plus de 15.000 installations sont soumises au SEQE-UE.

2.2.4. Influence de l'Europe en matière de tarification du carbone

Au vu des ambitions de l'Union Européenne en matière de réduction des émissions, on peut se demander quels sont les impacts et les implications du SEQE-UE dans le reste du

monde. Intuitivement, on peut assez facilement supposer que l'Europe peut exercer une influence importante sur le reste du monde en agissant comme un exemple. Si le marché du carbone s'avère efficace ou au moins suffisamment convaincant, d'autres pays pourraient s'en inspirer pour créer et développer des politiques similaires. En effet, presque tous les Etats du monde ont signé et ratifié le protocole de Kyoto. Par conséquent, si l'Europe prouve que son système de réduction des émissions fonctionne, alors le reste du monde pourrait être inspiré d'imiter l'Union Européenne.

Dans le monde, beaucoup de pays ont depuis lors adopté un système d'échange de quotas d'émission. C'est le cas par exemple de la Chine qui a lancé un projet pour l'implémentation d'un système d'échange de quotas d'émissions en 2014 et de la Corée du Sud qui a lancé son propre système en 2015. Une compatibilité entre les systèmes mis en place permettrait également de décloisonner le marché du carbone Européen pour l'étendre au reste du monde.

2.3.Enjeux et limites du système

2.3.1. Fuites de carbone

Une des principales préoccupations à propos de ce système concerne les fuites de carbone, « *carbon leakages* », c'est-à-dire que les entreprises délocaliseraient leur production dans un pays hors Europe afin de ne pas devoir acheter de permis d'émission, puis réimporteraient leur marchandise dans le marché Européen. Un arbitrage serait alors effectué par les entreprises pour savoir ce qui serait le plus rentable entre l'achat de permis d'émission, la délocalisation de leurs activités, afin de gagner en compétitivité, quitte à payer plus de frais de port. Les effets en termes de réduction des émissions du système SEQUE-UE pourraient même être plus que compensés par des fuites de carbone positives vers des pays ayant une réglementation plus souple (Baylis et al., 2013). La politique deviendrait alors inefficace, voire totalement contreproductive.

Un autre potentiel problème que pose le SEQE-UE concerne une possible perte de compétitivité des entreprises européennes vis-à-vis de leurs concurrents étrangers. Joltreau et Sommerfeld (2018) partent de la littérature existante concernant la compétitivité des entreprises soumises au système SEQE-UE et émettent plusieurs hypothèses pour expliquer l'absence de perte de compétitivité durant les phases 1 et 2, soit sur la période 2005-2012. Parmi les hypothèses avancées par les auteurs, on retrouve :

- L'allocation gratuite ou la surallocation des permis d'émission : si les entreprises ne doivent pas faire face au coût de leurs émissions ou si ce coût est très faible, voire nul, ce qui fut le cas pendant la période étudiée, aucun changement de compétitivité ne sera engendré.
- Le transfert des coûts vers les consommateurs (*cost pass-through*) dans les secteurs qui peuvent se le permettre, comme le secteur de l'électricité qui est caractérisé par des monopoles nationaux et une demande fortement inélastique, rendant le terrain propice pour un transfert des coûts vers les consommateurs. Cependant, une entreprise qui ne pourrait pas transférer ses coûts devrait soit réduire ses marges bénéficiaires, soit délocaliser ses activités, selon Alexeeva-Talebi (2010).
- Une faible proportion des coûts énergétiques. Une entreprise qui consomme peu d'énergie ne sera pas impactée par une augmentation des prix découlant d'une envolée du prix du carbone et ne perdra pas en compétitivité.
- L'innovation peut être selon les auteurs provoquée par une politique bien faite, ce qui ne semble pas être le cas avec SEQE-UE.

Globalement, l'absence d'effets négatifs en matière de compétitivité entre les entreprises européennes et non-européennes repose principalement dans le prix bas des permis d'émission, provoqué par une surallocation durant les deux premières phases. Il s'agit par conséquent de la raison principale avancée pour expliquer l'absence de fuites de carbone durant les deux premières phases du SEQE-UE.

Cependant, depuis environ la moitié de la Phase 3, le prix du carbone a augmenté. Cela a-t-il augmenté les fuites de carbone ? Kuusi & Wang (2022) trouvent par exemple que les fuites de carbone ont augmenté de 4% dans l'Union Européenne au moyen d'un modèle de gravité qui prend en compte les émissions de CO₂ dans les Phases 1 à 3 du système. Ils montrent aussi une augmentation du contenu en carbone des importations vers l'Union Européenne de 12%,

c'est-à-dire qu'une tonne d'un produit importé contient en moyenne 12% de CO₂ en plus qu'auparavant. Les auteurs concluent également que les fuites de carbone ont été plus importantes dans les derniers développements du système, ce qui confirme l'hypothèse du prix du carbone comme moteur des fuites de carbone.

Baylis et al. (2014) trouvent que des « fuites négatives » (*negative leakages*) sont possibles. Concrètement, ces fuites négatives, appelées *abatement resource effect (ARE)*, proviennent du fait que les entreprises soumises au système de quotas carbone veulent réduire leurs émissions unitaires en utilisant des intrants « propres », moins carbonés. Cela aurait pour effet de détourner ces intrants propres des autres secteurs ou des pays qui ne sont pas soumis à cette politique carbone, qui à leur tour utilisent des intrants moins propres, annulant ainsi l'effet de la politique.

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

Pour s'assurer que les entreprises hors Europe ne bénéficient pas des politiques environnementales plus souples hors Europe, l'Union Européenne va mettre en place un mécanisme appelé Mécanisme d'Ajustement Carbone aux Frontières (MACF), qui vise à annuler cet arbitrage, c'est-à-dire à faire en sorte que le prix du carbone payé par les entreprises hors-Europe soit égal au prix qu'elles auraient payé pour leurs émissions si la production avait eu lieu sur le territoire Européen. Le lancement, prévu le premier octobre 2023, a lieu dans un moment crucial caractérisé par un prix du carbone élevé, et donc un risque de fuites élevé. Par ailleurs, il est prévu que le mécanisme s'applique dans les secteurs présentant un haut risque de fuites tels que le ciment, l'acier ou encore les engrais chimiques.

Cependant, bien qu'intuitivement adapté, l'efficacité et le caractère adéquat de ce mécanisme en termes de bien-être et de compétitivité font débat au sein de la communauté scientifique.

Zhong et Pei (2022) étudient l'impact sur la compétitivité et sur le bien-être du mécanisme d'ajustement. Ils trouvent que le mécanisme peut aider à réduire les fuites de carbone et à préserver la compétitivité au sein de l'Union Européenne, mais qu'il possède un impact limité sur les émissions totales globales. Cependant, les auteurs ont décelé un potentiel effet indirect à ce mécanisme. En effet, si dans le cadre du MACF l'Union Européenne acceptait de reconnaître les politiques et instruments de réduction des émissions mis en place par les pays

hors UE et accordait des exemptions via, par exemple, une réduction du prix du MACF, cela rendrait le mécanisme plus juste et inciterait les pays qui veulent commercer avec l'UE à adopter ce genre de politiques.

Balistreri et al. (2019) étudient le prix optimal de la taxe aux frontières afin de maximiser l'efficacité du MACF. Ils discutent le fait qu'un prix d'ajustement inférieur au prix du carbone sur le marché serait optimal afin d'éviter l'envoi d'un signal qui encouragerait la consommation de biens intensifs en carbone, rendus relativement meilleur marché dans les régions qui ne sont pas soumises à une réglementation sur les émissions.

Byeongho et al. (2021) évaluent les coûts induits par le mécanisme d'ajustement et questionnent le mécanisme d'un point de vue légal au regard de la conformité avec les règles commerciales du *General Agreement on Tariffs and Trade (GATT)*. En effet, le mécanisme créerait des discriminations envers les pays qui commercent avec l'Union Européenne, ce qui est en principe interdit par le GATT et pourrait conduire les pays lésés à mettre en place des mesures de rétorsion envers l'UE. Parmi les quatre scénarios proposés par les auteurs, celui apparaissant comme le plus probable est le scénario dans lequel les pays affectés répondent au MACF par des mesures de rétorsion, rendant le mécanisme inutile, voire désavantageux pour l'Union Européenne.

2.4. Raisonement et explication de la question de recherche

Maintenant que le contexte est éclairci, venons-en à la question de recherche.

Efficacité du système d'échange de quotas d'émission de l'Union Européenne (SEQE-UE) et structure de marché

Le raisonnement qui sous-tend cette question de recherche repose sur les éléments suivants. Le système d'échange de quotas carbone a été mis en place par l'Union Européenne afin que les entreprises internalisent le coût de leurs émissions de gaz à effet de serre. Ces entreprises voient par conséquent leurs coûts de production augmenter de manière croissante avec leurs émissions unitaires et avec le prix du carbone. Ainsi, des entreprises dans les secteurs intensifs en carbone tels que les secteurs de l'acier ou du ciment, qui émettent beaucoup de CO₂, devront payer davantage de permis d'émission que des entreprises opérant dans un secteur d'activité qui possède une intensité plus faible. De plus, au sein d'un même secteur d'activité,

les entreprises les moins polluantes auront un avantage en matière de coûts de production sur les entreprises concurrentes.

En outre, plus un secteur est compétitif, plus l'incitant « prix du CO₂ » sera fort car une entreprise qui parvient à baisser ses émissions de gaz à effet de serre par unité produite jouira d'un avantage comparatif et affichera de meilleurs résultats que ses concurrents qui n'ont pas su ou pu réaliser ce progrès technique. A l'inverse, dans un secteur peu concentré ou même dans un monopole, les entreprises auront un incitant moins fort à réduire leurs émissions unitaires car elles pourront répercuter le coût de leurs émissions dans leurs prix de vente, sans forcément modifier leurs profits. En effet, si les consommateurs n'ont pas d'alternative, ils se tourneront quand même vers la seule entreprise disponible. Ce sera donc d'autant plus le cas si la demande dans un tel secteur est fortement inélastique.

Ma question de recherche a donc pour but de montrer que l'efficacité de la politique de tarification carbone, mesurée comme la réduction des émissions totales, sera plus ou moins importante en fonction de la structure de marché. Intuitivement, la politique tendrait à être plus efficace en situation de concurrence parfaite (concentration sectorielle faible) et moins efficace en situation de monopole (concentration sectorielle forte). En effet, dans un secteur fortement concentré et très peu concurrentiel, le pouvoir de marché est réparti de manière très inégale et les entreprises vont donc plus facilement répercuter le coût du carbone dans leur prix de vente. Par conséquent, elles ne verront pas d'utilité à réduire leurs émissions si leurs marges bénéficiaires ne changent pas. L'inverse serait vrai dans un secteur très peu concentré et donc fortement concurrentiel.

Le modèle théorique que je développe dans ce mémoire a pour but de démontrer cette hypothèse.

2.5.Revue de la littérature

Cette section s'intéresse à la littérature existante concernant le système SEQUE-UE et ses différents effets sur l'économie.

Kiss et Popovics (2021) montrent que la politique d'échange de quotas carbone en Europe peut être efficace pour réduire les émissions, mais seulement si elle est combinée à d'autres politiques au niveau national, notamment des politiques de taxation. Ils discutent cependant le fait que ces politiques, même si elles s'avèrent efficaces en termes de réduction des émissions,

présentent des résultats en deçà de ce qu'on attend d'elles. Ils mettent en avant les limites de notre système économique actuel basé sur la croissance et suggèrent qu'il faudrait peut-être revoir ce référentiel afin de mitiger les effets du dérèglement climatique.

Antimiani et al. (2016) évaluent les fuites de carbone et analysent les implications du SEQE-UE sur la compétitivité sur la période 2010-2050. Ils montrent que la meilleure manière d'annuler les fuites de carbone réside dans la coopération internationale totale. Cependant, au vu de l'inaction de certain pays en ce qui concerne la réduction des émissions, la deuxième meilleure solution est de financer les secteurs à la pointe de la technologie ainsi que les énergies renouvelables, tout en protégeant la compétitivité des secteurs intensifs en énergie.

Demailly et Quirion (2008) explorent l'effet de la politique SEQE-UE sur la compétitivité dans le secteur de la sidérurgie. Leurs résultats montrent une faible diminution de la compétitivité dans ce secteur pourtant intensif en carbone et largement ouvert à la concurrence internationale. Cependant, leurs résultats doivent être interprétés avec prudence compte tenu des données traitées par les auteurs qui ont été récoltées durant la phase pilote de la politique.

Plus récemment, Cludius et al. (2020) étudient la présence d'un pass-through du prix du carbone dans les prix de vente dans six secteurs industriels en Europe, et notamment dans le secteur sidérurgique. Dans ce secteur, ils identifient un pass-through positif significatif. Contrairement à Demailly et Quirion (2008) avant eux, leur étude couvre des données récoltées durant les première et deuxième phases et le début de la troisième phase du système (2005-2014). Ces résultats sont à nuancer. En effet, Neuhoff et Ritz (2019) montrent un pass-through moins grand lorsque les entreprises sous une régulation carbone font face à une concurrence avec peu de régulation.

Pour Jing et al. (2015), les réductions d'émissions de gaz à effet de serre devraient augmenter avec l'inclusion du secteur de l'aviation dans le système. Les auteurs montrent également que la mise en place du MSR pourrait permettre d'ajuster l'offre de quotas qui est intrinsèquement inélastique et améliorer la résilience du SEQE-UE.

3. Méthodologie

3.1. Duopole de Cournot

Dans ce mémoire, j'utilise un modèle de duopole Cournot dans lequel j'inclus un coût pour les émissions de gaz à effet de serre via le prix du carbone induit par l'achat de permis d'émission. Les entreprises jouent en Cournot et je dérive des expressions pour les quantités produites par chacune d'elles, le prix du marché, les profits ainsi qu'un niveau d'émissions unitaires. J'établis enfin une expression pour les émissions totales du secteur et pour l'indice d'Herfindahl. L'objectif final est de montrer comment se comportent les entreprises au niveau de leurs émissions en fonction de la structure du marché dans lequel elles opèrent. Pour ce faire, j'inclus des hypothèses concernant une différenciation entre les coûts variables des entreprises et leur impact sur les émissions totales.

3.2. Modèle de base

3.2.1. Demande inverse

Soient deux entreprises i en concurrence sur un marché. La demande inverse est exprimée comme :

$$p = a - b * Q \quad (1)$$

Les quantités totales Q sont simplement la somme des quantités produites par chaque entreprise, q_1 et q_2 .

$$Q = q_1 + q_2 \quad (2)$$

3.2.2. Coûts de production

Chaque entreprise i fait face à des coûts de production, composés d'une partie fixe CF , d'une partie variable qui dépend des quantités produites par l'entreprise $CV_i * q_i$ et du coût des émissions supporté par l'entreprise i , qui dépend de son niveau d'émission par unité produite e_i , exprimé en tonnes de CO₂ par unité, ainsi que des quantités produites q_i et enfin du prix du CO₂, p_{CO_2} , le prix d'une tonne de CO₂ sur le marché du carbone. Je considère le prix du carbone comme exogène.

$$C_i(q_i) = CF + CV_i q_i + p_{CO_2} * e_i * q_i \quad (3)$$

Je dérive cette expression de coût total en fonction des quantités afin d'obtenir le coût marginal c_i supporté par l'entreprise i , exprimé comme la somme de ses coûts variables et du coût des émissions engendrées par la production d'une unité.

$$\frac{\partial C_i(q_i)}{\partial q_i} = c_i = CV_i + e_i p_{CO2} \quad (4)$$

3.2.3. Fonction de meilleure riposte

La fonction de meilleure riposte (*best response function*) pour l'entreprise i est obtenue en multipliant les quantités produites avec le prix du marché, moins le coût total supporté par l'entreprise.

$$R_i = p * q_i - C_i(q_i) \quad (5)$$

Je commence donc par rechercher une expression de la fonction de meilleure riposte pour l'entreprise 1, qui me donnera la quantité q_1 qui maximisera le profit de l'entreprise 1 pour chaque valeur de q_2 .

$$R_1 = [a - b(q_1 + q_2)] * q_1 - C_1(q_1) \quad (6)$$

$$\Leftrightarrow R_1 = aq_1 - bq_1^2 - bq_1q_2 - C_1(q_1) \quad (7)$$

Afin de trouver les quantités qui seront produites par l'entreprise 1, sachant que l'entreprise 2 produira q_2 , je dérive la fonction de meilleure riposte par rapport à q_1 .

$$\frac{\partial R_1}{\partial q_1} = 0 \Leftrightarrow a - 2bq_1 - bq_2 - c_1 = 0 \quad (8)$$

$$\Leftrightarrow q_1^{BR} = \frac{a-c_1}{2b} - \frac{q_2}{2} \quad (9)$$

En répétant les étapes précédentes pour l'entreprise 2, je peux trouver l'expression des quantités produites par l'entreprise 2.

$$\Leftrightarrow q_2^{BR} = \frac{a-c_2}{2b} - \frac{q_1}{2} \quad (10)$$

3.2.4. Équilibre

J'obtiens donc un système de deux équations à deux inconnues que je peux résoudre par substitution afin de trouver les quantités produites par chaque entreprise à l'équilibre, q_1^* et q_2^* .

$$q_1^{BR} = \frac{a-c_1}{2b} - \frac{1}{2} \left(\frac{a-c_2}{2b} - \frac{q_1}{2} \right) \quad (11)$$

$$q_1^* = \frac{a-2c_1+c_2}{3b} \quad (12)$$

$$q_2^* = \frac{a-2c_2+c_1}{3b} \quad (13)$$

A partir de la fonction de demande inverse ci-dessus (équation 1), je trouve une expression pour le prix du marché à l'équilibre.

$$p^* = a - b * (q_1^* + q_2^*) \quad (14)$$

$$p^* = \frac{a+c_1+c_2}{3} \quad (15)$$

Les équations 12, 13 et 15 me permettent de calculer les profits générés par chaque entreprise π_i^* à l'équilibre.

$$\pi_i^* = (p - c_i) * q_i \quad (16)$$

Les profits pour les entreprises 1 et 2 sont donc donnés par :

$$\begin{cases} \pi_1^* = \frac{(a-2c_1+c_2)^2}{9b} \\ \pi_2^* = \frac{(a-2c_2+c_1)^2}{9b} \end{cases} \quad (17)$$

3.3.Équilibre

Pour rappel, on sait que

$$c_i = CV_i + p_{co2} * e_i \quad (18)$$

Je remplace donc les expressions de coût marginal c_i dans les expressions ci-dessus caractérisant l'équilibre, afin de faire apparaître le détail du coût marginal de chaque entreprise et j'obtiens l'équilibre suivant :

$$q_1^* = \frac{a-2CV_1+CV_2+p_{co2}*(e_2-2e_1)}{3b} \quad (19)$$

$$q_2^* = \frac{a-2CV_2+CV_1+p_{co2}*(e_1-2e_2)}{3b} \quad (20)$$

Chaque entreprise produira une quantité q_i qui dépendra positivement des coûts variables et du coût des émissions unitaires de l'autre entreprise, et négativement de ses propres coûts variables et du coût des émissions unitaires. Notons que pour l'entreprise 1, une diminution de $x\text{€}$ de ses coûts variables aura un effet positif plus grand sur les quantités que l'effet négatif conféré par la diminution de $x\text{€}$ des coûts variables de l'entreprise 2. Cela permet d'affirmer que l'investissement réalisé par une entreprise dans le but de réduire ses émissions unitaires profitera à cette entreprise plutôt qu'à l'autre qui verra ses quantités produites diminuer. Les entreprises sont donc incitées à réduire leurs coûts, et donc leurs émissions unitaires si elles veulent augmenter leur production, afin d'avoir l'avantage sur l'entreprise concurrente en termes de parts de marché.

$$Q^* = q_1^* + q_2^* = \frac{2a-CV_1-CV_2-p_{co2}*(e_1+e_2)}{3b} = \frac{2}{3b} \left(a - \frac{CV_1+CV_2}{2} - p_{co2} * \frac{e_1+e_2}{2} \right) \quad (21)$$

Les quantités totales produites dans un secteur sont une fonction décroissante de la moyenne des coûts variables et de la moyenne des coûts unitaires des émissions.

$$p^* = \frac{a+CV_1+CV_2+p_{co2}*(e_1+e_2)}{3} \quad (22)$$

Le prix, unique dans un secteur d'activité, sera déterminé par la somme des coûts marginaux supportés par les deux entreprises.

Les profits sont donnés par les équations 23 et 24.

$$\pi_1^* = \frac{(a - 2CV_1 + CV_2 + p_{CO_2} * (e_2 - 2e_1))^2}{9b} \quad (23)$$

$$\pi_2^* = \frac{(a - 2CV_2 + CV_1 + p_{CO_2} * (e_1 - 2e_2))^2}{9b} \quad (24)$$

Remarque :

$$\pi_i^* = b * q_i^2$$

3.4. Coûts d'abattement et émissions unitaires et agrégées

3.4.1. Coûts d'abattement

Maintenant, supposons que les entreprises souhaitent réduire leurs émissions de CO₂ via une avancée technologique nécessitant des investissements (ex : optimisation des processus pour les rendre moins gourmands en énergie, investissement dans du matériel plus performant, investissement dans le développement d'une nouvelle technologie moins polluante, etc.). Chaque entreprise i fera face à un coût appelé *abattement cost* ou coût d'abattement, c'est-à-dire le coût de réduction des émissions, représenté par la formule ci-dessous.

$$k * (e_{max} - e_i)^2 \quad (25)$$

On a donc $k > 0$ qui est une constante propre à chaque secteur, e_i le niveau d'émissions par unité produite par l'entreprise i et e_{max} , qui est un niveau maximum, plafond au sein d'un secteur, tel que, pour toute entreprise i ,

$$e_{max} > e_i \quad (26)$$

Chaque entreprise i choisira un niveau d'émission unitaire qu'elle souhaite atteindre et investit afin d'arriver à cet objectif. Plus ce niveau choisi sera bas, plus il sera éloigné du niveau maximum et par conséquent plus coûteuse sera la technologie dans laquelle l'entreprise investit. Ce terme est élevé au carré afin de s'assurer que les coûts d'abattement sont positifs et croissants en fonction de la distance par rapport au niveau e_{max} . Une technologie moins polluante sera ainsi plus chère.

3.4.2. Émissions unitaires et émissions agrégées

Afin de déterminer le niveau d'émissions unitaires choisi par chaque entreprise, je retranche ce coût d'abattement du profit, puis je dérive par rapport à e_i afin d'obtenir une expression pour e_1 en fonction de e_2 et vice versa.

$$\frac{\partial[\pi_i - k*(e_{max} - e_i)^2]}{\partial e_1} = 0 \quad (27)$$

$$\Leftrightarrow \frac{\partial \left[\frac{(a - 2CV_1 + CV_2 + p_{CO_2}*(e_2 - 2e_1))}{9b} - k*(e_{max} - e_1)^2 \right]}{\partial e_1} = 0$$

$$\Leftrightarrow \frac{2(a - 2CV_1 + CV_2 + p_{CO_2}(e_2 - 2e_1))*(-2p_{CO_2})}{9b} + 2k(e_{max} - e_1) = 0$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} e_1 = \frac{2p_{CO_2}(a - 2CV_1 + CV_2 + p_{CO_2}e_2) - 9bke_{max}}{4p_{CO_2}^2 - 9bk} \\ e_2 = \frac{2p_{CO_2}(a - 2CV_2 + CV_1 + p_{CO_2}e_1) - 9bke_{max}}{4p_{CO_2}^2 - 9bk} \end{cases} \quad (28)$$

J'obtiens encore une fois un système de deux équations à deux inconnues que je résous par substitution afin de trouver une expression pour le niveau d'émissions unitaires de chaque entreprise à l'équilibre.

$$e_1^* = \frac{2p_{CO_2}a - 9bke_{max}}{2p_{CO_2}^2 - 9bk} - \frac{2p_{CO_2}*[2CV_1*(p_{CO_2}^2 - 3bk) - 3bkCV_2]}{(2p_{CO_2}^2 - 3bk)(2p_{CO_2}^2 - 9bk)} \quad (29)$$

$$e_2^* = \frac{2p_{CO_2}a - 9bke_{max}}{2p_{CO_2}^2 - 9bk} - \frac{2p_{CO_2}*[2CV_2*(p_{CO_2}^2 - 3bk) - 3bkCV_1]}{(2p_{CO_2}^2 - 3bk)(2p_{CO_2}^2 - 9bk)} \quad (30)$$

A partir de ces expressions de e_1^* et e_2^* ainsi que des quantités d'équilibre, je trouve une expression pour les émissions de gaz à effet de serre agrégées dans le secteur E en multipliant les émissions unitaires de chaque entreprise par les quantités produites par chaque entreprise.

$$\begin{aligned} E = e_1^*q_1^* + e_2^*q_2^* &= \frac{2p_{CO_2}a*[2a - p_{CO_2}*(e_1 + e_2)] - 9bke_{max}*(2a - CV_1 - CV_2 - p_{CO_2})}{3b(2p_{CO_2}^2 - 9bk)} + \\ &4p_{CO_2}^3 \frac{2*(CV_1^2 + CV_2^2 - a(CV_1 + CV_2) - CV_1CV_2) - p_{CO_2}[CV_1(2e_1 + e_2) + CV_2(e_1 + 2e_2)]}{3b(2p_{CO_2}^2 - 3bk)(2p_{CO_2}^2 - 9bk)} + \\ &\frac{2p_{CO_2}k*[4a(CV_1 + CV_2) - 3(CV_1(CV_1 - p_{CO_2}e_1) + CV_2(CV_2 - p_{CO_2}e_2))]}{(2p_{CO_2}^2 - 3bk)(2p_{CO_2}^2 - 9bk)} \end{aligned}$$

$$(31)$$

3.5. Asymétrie de coûts et concentration sectorielle

3.5.1. Différenciation des coûts variables

Afin d'étudier l'effet d'une variation de la concentration d'un secteur sur les émissions de gaz à effet de serre, je fais les deux hypothèses ci-dessous concernant les coûts variables. Concrètement, fais l'hypothèse suivante, afin que les coûts variables des deux entreprises du secteur diffèrent d'un paramètre $\frac{\delta}{2}$.

$$\begin{cases} CV_1 = CV + \frac{\delta}{2} \\ CV_2 = CV - \frac{\delta}{2} \end{cases} \quad (32)$$

Où

$$CV_1 = CV + \frac{\delta}{2} > 0 \Leftrightarrow \delta > -2CV \quad (33)$$

$$CV_2 = CV - \frac{\delta}{2} > 0 \Leftrightarrow \delta < 2CV \quad (34)$$

Donc,

$$-2CV < \delta < 2CV \quad (35)$$

3.5.2. Parts de marché et concentration sectorielle

Supposons que les parts de marché détenues par les deux entreprises soient distribuées de manière inversement proportionnelle au delta, le paramètre de différenciation des coûts qui les distingue. Ainsi, dans le cas où $\delta > 0$, plus delta augmente, plus les coûts seront différents et plus les parts de marché seront réparties de manière inégale dans un secteur. Plus précisément, l'entreprise 2, ayant des coûts relativement plus faibles, aura donc plus de parts de marché que l'entreprise 1 qui fait face à des coûts relativement plus élevés. Je peux donc exprimer les parts de marché de chaque entreprise comme :

$$\begin{cases} s_1 = \frac{1}{CV_1} = \frac{1}{CV + \frac{\delta}{2}} \\ s_2 = \frac{1}{CV_2} = \frac{1}{CV - \frac{\delta}{2}} \end{cases} \quad (36)$$

Ces parts de marché me permettent maintenant d'exprimer l'indice d'Herfindahl-Hirschman (HHI) en fonction de δ , la différence de coût entre les deux entreprises, comme la somme des parts de marché au carré (Herfindahl, 1950).

$$HHI = s_1^2 + s_2^2 = \left(\frac{1}{CV+\frac{\delta}{2}}\right)^2 + \left(\frac{1}{CV-\frac{\delta}{2}}\right)^2 \quad (37)$$

Cela me permet de relier cette différence des coûts avec une mesure de la concentration de marché. En effet, une augmentation de l'écart de coûts variables entre les deux entreprises provoquera une augmentation de l'indice HHI. A l'inverse, un grand HHI peut signifier que les entreprises se différencient fortement au niveau de leurs coûts variables.

3.5.3. Lien entre concentration sectorielle et émissions agrégées

Maintenant que ce lien est établi, je vais établir le lien entre la concentration de marché (indice HHI) et émissions totales, via la différence des coûts entre les deux entreprises.

Je commence par remplacer les expressions de CV_1 et CV_2 dans l'expression d'émissions totales calculée ci-dessus. J'obtiens une équation de E en fonction de δ .

$$E = \frac{p_{co2}(4a^2 + 3\delta^2) - 2p_{co2}(e_1 + e_2)(a - 3CV) - 9bke_{max}(2a - 2CV - p_{co2})}{3b(2p_{co2}^2 - 9bk)} + p_{co2} \\ * \frac{4CV^2 - p_{co2}e_1\delta + p_{co2}e_2\delta}{3b(2p_{co2}^2 - 3bk)} - \frac{16p_{co2}CVa * (p_{co2}^2 - 3bk)}{3b(2p_{co2}^2 - 3bk)(2p_{co2}^2 - 9bk)} \quad (38)$$

Afin de savoir comment les émissions agrégées vont varier en fonction de la différence de coûts, je dérive cette expression par rapport à δ . La dérivée première de E en fonction de δ me donne le signe du lien entre ces deux variables.

$$\frac{\partial E}{\partial \delta} = \frac{6\delta p_{co2}}{3b(2p_{co2}^2 - 9bk)} - \frac{p_{co2}^2(e_1 - e_2)}{3b(2p_{co2}^2 - 3bk)} > 0 \quad (39)$$

Cette dérivée première doit être positive afin de montrer qu'une augmentation (resp. diminution) de la dispersion des coûts provoquera une augmentation (resp. diminution) des émissions de gaz à effet de serre. Afin que cette condition soit remplie, δ , la différence de coûts

Méthodologie

entre les entreprises, devra être assez grande afin d'être supérieure au membre de droite dans l'équation 49 ci-dessous.

$$\delta > \frac{p_{co2}(e_1 - e_2)(2p_{co2}^2 - 9bk)}{6(2p_{co2}^2 - 3bk)} \quad (40)$$

Pour un prix du CO₂ donné et au vu de la présence du prix du CO₂ au troisième degré au numérateur, les émissions totales augmenteront, soit lorsque la différence de coûts variables entre les entreprises sera suffisamment grande pour surpasser le membre de droite (δ grand), soit lorsque la différence entre les émissions unitaires ($e_1 - e_2$), équivalente à la différence d'intensité en carbone des entreprises 1 et 2, sera suffisamment petite pour enrayer l'effet du prix du carbone, soit une combinaison des deux.

Pour des niveaux de prix du CO₂ trop élevés on aurait alors un effet inverse, c'est-à-dire qu'une diminution de la concentration (donc une augmentation de la concurrence) provoquerait une augmentation des émissions, si l'inégalité de l'équation 40 n'est pas respectée. En revanche, si les entreprises ont la même intensité carbone (même e), l'effet d'une variation de la concentration sur les émissions serait nul. Cependant, cela ne se produirait que dans le cas particulier où $\delta = 0$.

La dérivée seconde doit, elle aussi, être positive, afin que les émissions baissent de moins en moins rapidement à mesure qu'on se rapproche d'une situation de concurrence parfaite, sans différence de coûts.

$$\frac{\partial^2 E}{\partial \delta^2} = \frac{6p_{co2}}{3b(2p_{co2}^2 - 9bk)} > 0 \quad (41)$$

Dans ce cas, plus δ augmente, plus les émissions augmentent à un rythme croissant. Cette condition sera vérifiée lorsque $p_{co2} > 0$ et pour des valeurs b qui ne sont pas très élevées.

De cette condition, il en résulte que dans les secteurs qui sont fortement concentrés, c'est-à-dire les secteurs présentant un indice d'Herfindahl élevé, ou encore un secteur où les deux entreprises se différencient fortement au niveau de leurs coûts variables, une petite variation de la concentration aura un effet fort comparé à une situation dans laquelle la concentration initiale est plus faible.

4. Données

4.1. Exploration des données

Dans ce travail, j'exploite deux bases de données différentes. La première contient des informations sur les produits d'exploitation au niveau des entreprises. La seconde fournit des informations sur les émissions au niveau des secteurs d'activité.

La base de données concernant les produits d'exploitation est utilisée pour calculer l'indice d'Herfindahl par secteur. Il s'agit d'une base de données Orbis Europe du Bureau Van Dijk qui reprend des données d'entreprises au sein de l'Union Européenne. J'ai sélectionné, pour chaque secteur NACE de niveau 2, les 500 entreprises présentant les plus gros résultats en termes de produit d'exploitation. La base de données fournit également le nombre d'employés pour chaque entreprise, le nom, l'année des données, et le pays d'origine. Tous les autres indicateurs ont été rajoutés et/ou calculés.

Les données sur les émissions sont issues d'une base de données Eurostat qui reprend les émissions de gaz carbonique (CO₂), protoxyde d'azote (N₂O, CO₂ équivalent) et perfluorocarbones (PFC, CO₂ équivalent) en 2021 pour les secteurs NACE de niveau 2. Ces trois gaz sont ceux qui sont sujets aux permis d'émission dans le cadre du SEQE-UE.

Parmi les 99 secteurs reconnus par le système de classification NACE, j'ai choisi d'en présenter 5. Il s'agit des secteurs suivants :

- 35 – Fourniture d'électricité, de gaz, de vapeur et d'air conditionné
- 23 – Fabrication d'autres produits minéraux non métalliques
- 24 – Fabrication de métaux de base
- 20 – Fabrication de produits chimiques
- 19 – Fabrication de coke et de produits pétroliers raffinés

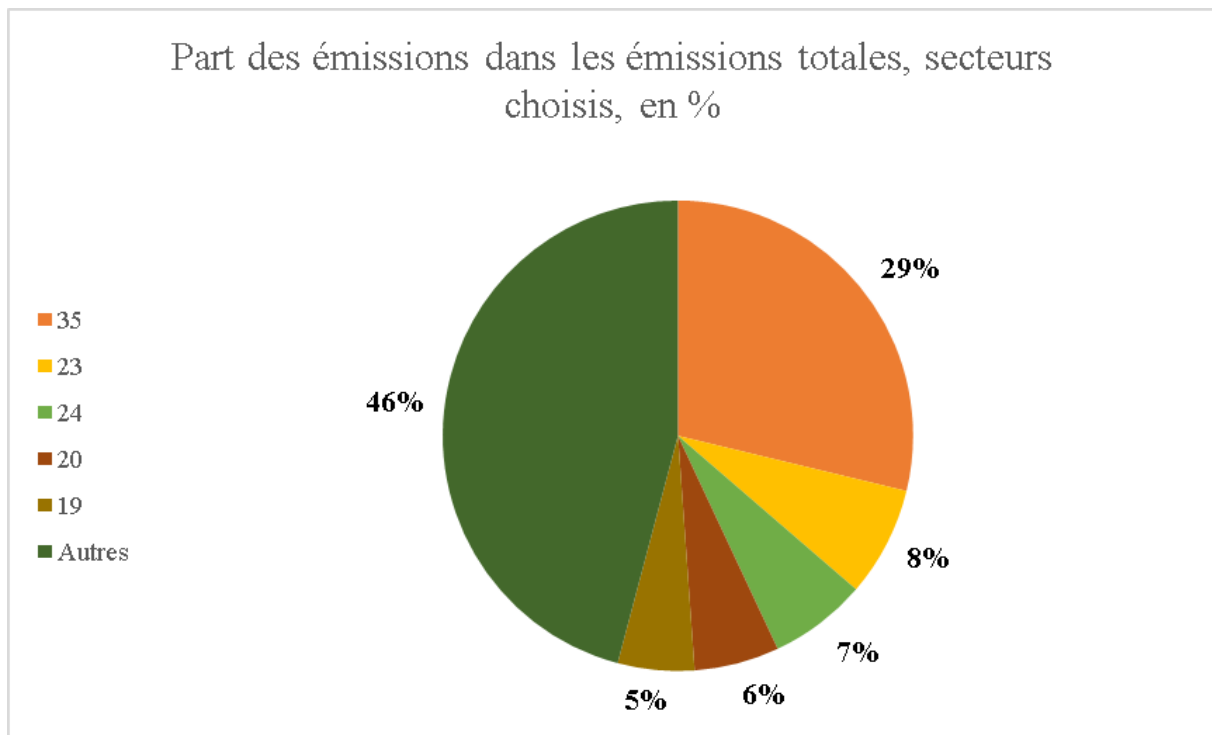


Figure 3. Part des émissions des secteurs choisis dans les émissions totales de l'Union Européenne, exprimées en %.

Source : Eurostat

En faisant l'hypothèse que toute leur production est dédiée au marché Européen, ces cinq secteurs représentent à eux seuls 54% des émissions totales en Europe, comme on peut le voir sur la Figure 3 ainsi que dans la Table 1. J'ai délibérément choisi de ne pas inclure le secteur du transport aérien, car, comme seuls les vols intra-européens sont soumis au SEQE-UE, il était impossible de dissocier les produits d'exploitation réalisés sur les vols intra-européens des autres vols.

N° secteur	Nom secteur	Emissions, tCO2 équivalent	Part des émissions dans le total	HHI
35	Fourniture d'électricité, de gaz, de vapeur et d'air conditionné	704.647.566	29%	286
23	Fabrication d'autres produits minéraux non métalliques	184.889.591	8%	617
24	Fabrication de métaux de base	164.189.142	7%	280
20	Fabrication de produits chimiques	143.147.492	6%	311
19	Fabrication de coke et de produits pétroliers raffinés	128.886.466	5%	474
Autres		1.129.351.330	46%	

Table 1. Émissions de gaz à effet de serre (en tonnes de CO₂ équivalent), part des émissions des secteurs choisis dans le total des émissions de l'Union Européenne et indice d'Herfindahl-Hirschman, pour les secteurs numérotés 35, 23, 24, 20 et 19 selon la classification NACE lv.2.

Source : Eurostat et Bureau Van Dijk

J'ai également calculé l'indice d'Herfindahl au moyen de la formule suivante :

$$HHI = \sum_{i=1}^n s_i^2$$

Où les parts de marché de chaque entreprise i sont calculées comme le quotient entre le produit d'exploitation de l'entreprise i et le produit d'exploitation total du secteur dans lequel elle opère.

$$s_i = \frac{prod_i}{prod_{tot}}$$

Données

Dans les cinq secteurs d'intérêt mentionnés ci-dessus, l'indice HHI est distribué de la manière suivante.

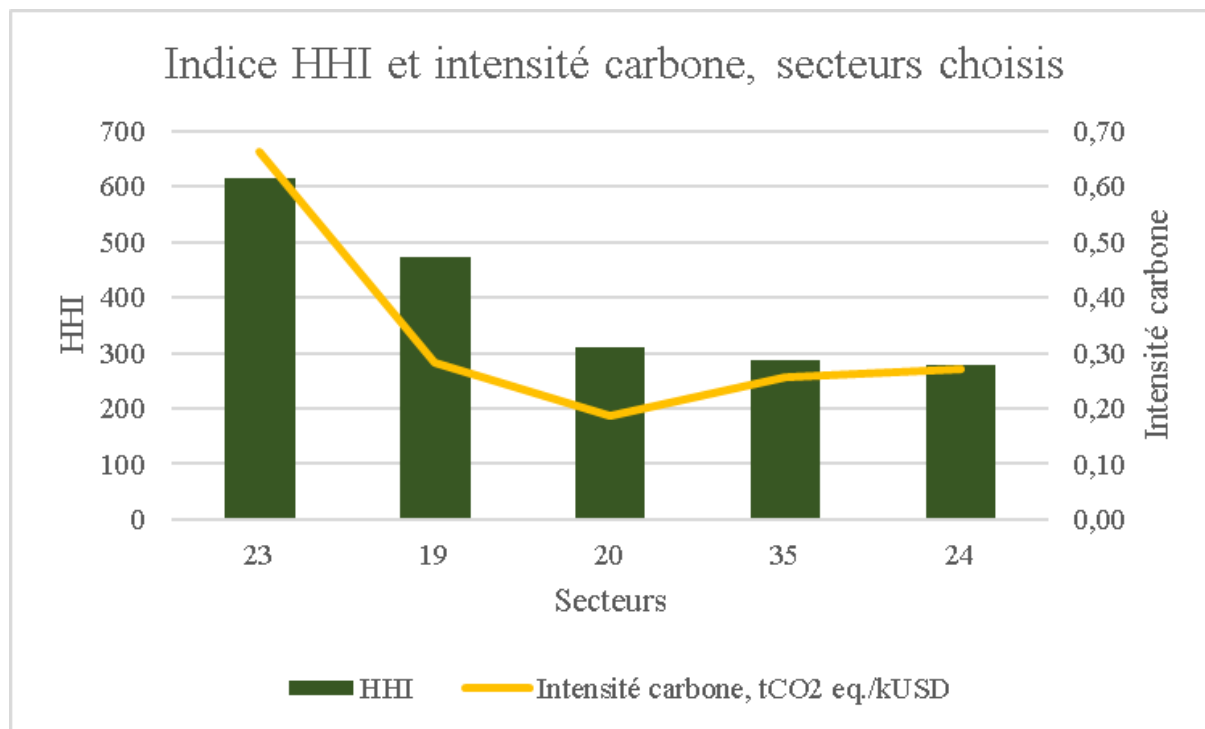


Figure 4. Indice d'Herfindahl-Hirschman (HHI, axe de gauche) et intensité carbone (axe de droite), exprimée en tonne d'équivalent CO₂ par millier d'USD pour les secteurs choisis (23, 19, 20, 35 et 24) en 2021.

Source : Eurostat et Bureau Van Dijk

On peut dire qu'aucun de ces secteurs n'est considéré comme étant particulièrement concentré car l'indice HHI est inférieur à 1500. Cependant, il existe une disparité assez claire au niveau des Herfindahl entre les secteurs. Par ailleurs, on remarque une corrélation positive entre l'indice d'Herfindahl et l'intensité en carbone de chaque secteur, estimée à environ 29%.

4.2. Discussion des données sur base du modèle

Pour rappel, sur base du modèle théorique, dans un secteur fort concentré caractérisé par un indice d'Herfindahl initial élevé ou une différenciation des coûts marquée, une variation de cet indice aura des effets relativement grands sur les émissions par rapport à un secteur initialement moins concentré. Par conséquent, sur base des données exposées ci-dessus, le cadre théorique me permet d'affirmer qu'une variation de l'indice d'Herfindahl dans le secteur 23

(Fabrication de produits minéraux non-métalliques) aura un effet supérieur à une variation similaire de cet indice dans les autres secteurs.

5. Discussion

Le modèle que je développe dans ce travail révèle une implication potentiellement importante pour les décideurs politiques. Plus précisément, le modèle met en évidence l'importance pour les décideurs politiques à réduire le Herfindahl en vue de diminuer les émissions de gaz à effet de serre dans Union Européenne. Cette conclusion suggère que favoriser la concurrence et la diversité au sein du marché pourrait avoir un impact positif sur la réduction des émissions, en contribuant ainsi à atteindre les objectifs environnementaux fixés par le Protocole de Kyoto et les Accords de Paris

Cependant, il est important de noter que mon travail présente également une limite substantielle. En effet, au vu de la complexité de l'expression des émissions agrégées (équation 38), j'ai été dans l'incapacité de calculer la dérivée de E par rapport au prix du carbone (p_{CO_2}), ce qui restreint ma capacité à prédire de manière précise l'effet d'une variation du prix sur les émissions. Une seconde limite

Par ailleurs, une interprétation alternative du modèle se dessine. Elle met en avant une relation inverse entre la réduction du plafond d'émissions et la pression exercée sur les différences de coûts, et par conséquent, sur le Herfindahl. En effet, une réduction du cap, et donc une réduction des émissions agrégées, exercera une pression sur la différence de coûts entre les entreprises et par conséquent sur l'indice d'Herfindahl et la concentration de marché. Cette perspective renforce l'idée que la politique environnementale peut influencer la structure concurrentielle du marché, et que des ajustements du plafond d'émissions pourraient potentiellement stimuler des changements significatifs dans la structure de marché.

6. Conclusion

Le modèle de concurrence que je développe dans ce travail permet de tirer quelques enseignements concernant l'efficacité du Système d'Échange de Quotas d'Émission de l'Union Européenne (SEQE-UE) en fonction de la structure de marché. Le modèle apporte une première explication concernant le mécanisme qui lie de manière positive les émissions agrégées dans un secteur d'activité avec sa concentration.

Ce travail pourrait permettre d'apporter du support dans le cadre de politiques publiques visant à réduire la concentration de certains secteurs d'activités, dans le but de réduire les émissions inhérentes aux activités de celui-ci. Par ailleurs, ce modèle, utilisé avec des données plus récentes, pourrait apporter d'autres points de vue à la littérature concernant l'efficacité de la politique SEQE-UE, notamment au niveau de la structure de marché.

Néanmoins, deux limites évidentes concernant le modèle sont à souligner. La première limite concerne le fait que le modèle est un duopole. Il serait peut-être intéressant de le généraliser avec n entreprises avant de l'utiliser de manière empirique. Cela permettrait d'accroître la validité externe d'une analyse basée sur ce cadre théorique. La deuxième limite concerne le manque de support relatif à l'effet du prix du carbone sur les émissions totales. Ce point mériterait plus d'attention car il semble évident qu'il est déterminant pour la réussite de la politique.

En résumé, cette recherche contribue à une meilleure compréhension des mécanismes complexes qui sous-tendent l'efficacité du SEQE-UE dans la transition vers une économie à faible émission de carbone. Dans un contexte de défis environnementaux croissants, il est impératif de continuer à évaluer et à améliorer les politiques de régulation pour assurer un avenir plus durable pour les générations futures.

7. Bibliographie

- Alexeeva-Talebi, V. (2010). *Cost Pass-Through in Strategic Oligopoly: Sectoral Evidence for the EU ETS* (SSRN Scholarly Paper 1674850). <https://doi.org/10.2139/ssrn.1674850>
- Antimiani, A., Costantini, V., Kuik, O., & Paglialunga, E. (2016). Mitigation of adverse effects on competitiveness and leakage of unilateral EU climate policy : an assessment of policy instruments. *Ecological Economics*, 128, 246-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.05.003>
- Balistreri, E. J., Kaffine, D. T., & Yonezawa, H. (2019). Optimal environmental border adjustments under the General Agreement on Tariffs and Trade. *Environmental and Resource Economics*, 74(3), 1037-1075. <https://doi.org/10.1007/s10640-019-00359-2>
- Baylis, K., Fullerton, D., & Karney, D. H. (2013). Leakage, Welfare, and Cost-Effectiveness of Carbon policy. *The American Economic Review*, 103(3), 332-337. <https://doi.org/10.1257/aer.103.3.332>
- Baylis, K., Fullerton, D., & Karney, D. H. (2014). Negative leakage. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 1(1/2), 51-73. <https://doi.org/10.1086/676449>
- Bureau Van Dijk. (2023). *Orbis Database*. <https://www.bvdinfo.com/fr-fr/nos-produits/donnees/international/orbis>
- Byeongho et al. (2021). Pitfalls of the EU's carbon border adjustment mechanism. *Energies*, 14(21), 7303. <https://doi.org/10.3390/en14217303>
- Carbon Border Adjustment Mechanism*. (s. d.). Taxation and Customs Union. https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en
- Carbon Pricing Dashboard | Up-to-date overview of carbon pricing initiatives*. (s. d.). https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/map_data
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104883>

Bibliographie

- Demayly, 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. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.01.020>
- Development of EU ETS (2005-2020)*. (s. d.). Climate Action. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/development-eu-ets-2005-2020_en
- EU Emissions Trading System (ETS) Data Viewer*. (s. d.). European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/emissions-trading-viewer-1>
- Eurostat. (2023). *Eurostat database*. <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
- Herfindahl, O. C. (1950). Concentration in the Steel Industry. *Journal of Political Economy*, 58(4), 193-215.
- International Carbon Market*. (s. d.-b). Climate Action. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/international-carbon-market_en
- Jing, H., Crijns-Graus, W., Lam, L., & Gilbert, A. (2015). Ex-ante evaluation of EU ETS during 2013–2030 : EU-internal abatement. *Energy Policy*, 77, 152-163. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.11.023>
- Joltreau, E., & Sommerfeld, K. (2018). Why does emissions trading under the EU Emissions Trading System (ETS) not affect firms' competitiveness? Empirical findings from the literature. *Climate Policy*, 19(4), 453-471. <https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1502145>
- Kiss, T., & Popovics, S. (2021). Evaluation on the effectiveness of energy policies – Evidence from the carbon reductions in 25 countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, 111348. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111348>
- Kuusi, T., & Wang, M. (n.d.). *Trade flows, carbon leakage, and the EU emissions trading system*. 94.
- Nations Unies. (1997). Protocole de Kyoto à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>

Bibliographie

- Neuhoff, K., & Ritz, R. A. (2019). *Carbon cost pass-through in industrial sectors*. Energy Policy Research Group, University of Cambridge; JSTOR. <http://www.jstor.org/stable/resrep30282>
- Paquet 'Ajustement à l'objectif 55': Réforme du système d'échange de quotas d'émission de l'UE*. (2023, May 15). <https://www.consilium.europa.eu/fr/infographics/fit-for-55-eu-emissions-trading-system/>
- Parlement européen, & Conseil de l'Union européenne. (2003). 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 (Directive 2003/87/CE). Journal officiel de l'Union européenne, L275, 32-46. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:32003L0087>
- Perino, G. (2018). New EU ETS Phase 4 rules temporarily puncture waterbed. *Nature Climate Change*, 8(4), Article 4. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0120-2>
- Réexamen de la phase 4 (2021-2030)*. (s. d.). Climate Action. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/revision-phase-4-2021-2030_fr
- Réforme structurelle du SEQE-UE*. (s. d.). Climate Action. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/market-stability-reserve_fr
- Rosendahl, K. E. (2019). EU ETS and the waterbed effect. *Nature Climate Change*, 9(10), Article 10. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0579-5>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112802>