



ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES ÉCONOMIQUES,
JURIDIQUES, POLITIQUES ET DE GESTION
Université Clermont Auvergne

Ecole Doctorale des Sciences Economiques, Juridiques, Politiques et de Gestion
LEO-UCA, Université Clermont Auvergne, Clermont-Ferrand, France

**SYSTÈME D'ÉCHANGE DE QUOTAS D'ÉMISSIONS DE L'UNION
EUROPÉENNE (SEQUE-UE) ET PERFORMANCE DES
ENTREPRISES**

Thèse Nouveau Régime

Par

Aimé OKOKO

sous la direction de:

Pr. Pascale COMBES-MOTEL et Pr. Sonia SCHWARTZ

Composition du jury:

Julien CHEVALLIER	Professeur, LED, Université Paris 8	Rapporteur
Djamel KIRAT	Maître de Conférences-HDR, LEO, Université d'Orléans	Rapporteur
Florent PRATLONG	Maître de Conférences, PRISM, Université Paris 1	Suffragant
Pascale COMBES-MOTEL	Professeur, LEO-UCA, Université Clermont Auvergne	Directrice
Sonia SCHWARTZ	Professeur, LEO-UCA, Université Clermont Auvergne	Directrice

L'Université Clermont Auvergne n'entend donner aucune approbation
ni improbation aux opinions émises dans cette thèse. Ces opinions
doivent être considérées comme propres à leur auteur.

A ma mère Aminata OKOKO/TIEMTORE et mon père Auguste OKOKO

Ceux grâce à qui ce travail a été possible. Je vous remercie pour tout ce que vous avez fait et continuez de faire pour nous. Cette thèse est l'aboutissement d'années de travail mais n'est que la racine de l'arbre que vous avez planté...

Que Dieu vous bénisse et vous accorde une longue vie...

A mes frères et soeurs Franck Ismaël OKOKO, Myriam OKOKO et Pascale OKOKO, vous avez toujours été présents pour moi afin de m'apporter du soutien et du réconfort. Que nos liens continuent de se renforcer...

Aux familles OKOKO et TIEMTORE...

Je vous dédie ce travail!!!

Remerciements

L'accomplissement de ce travail n'aurait pas été possible sans le concours de mon entourage. Mes remerciements vont tout d'abord à mes directrices de thèse, Pr. Pascale COMBES-MOTEL et Pr. Sonia SCHWARTZ pour leurs conseils, leurs encouragements, et surtout leur confiance depuis le début de cette thèse.

Ils s'adressent aussi aux membres de mon jury pour le temps consacré à évaluer ce travail, le professeur Julien CHEVALIER, les maîtres de conférence Djamel KIRAT et Florent PRATLONG. Je me réjouis à l'avance de bénéficier de votre expertise et de pouvoir échanger avec vous lors de ma soutenance.

Un grand merci à l'ensemble du corps enseignant et au personnel administratif. J'ai une pensée particulière pour Anaëlle, Raquel MELARA, Martine, Chantal, Johan, Hassen, Claudine, et tous les autres de l'administration, sans qui ce parcours n'aurait pas été le même. Merci pour votre sympathie et votre dynamisme afin de toujours nous faciliter les choses.

Mes remerciements vont également à mes camarades de classe et de laboratoire pour l'environnement propice au développement intellectuel qu'ils m'ont offert, notamment Alex, Aguib, Maryvon, Yasmine, Mahamady le sage, Isaac, Naseem, Amid, Akim, Fayçal, Annie, Régina, Chantale, Ulrich, Camara, Apeti, Aubin, Ben, Dorian, Dénise, Lucien, Asbath, Bienvenu, Bao-We, Florina, Askandarou, Crepin, Teodora.

Merci à ceux qui m'ont accompagné depuis le début de cette belle aventure à Clermont-Ferrand à savoir Nestor OUOBA, Harouna KINDA, mon homo Lompo, Ali COMPAORE, Ismael OUEDRAOGO, Rachid OUEDRAOGO, Asrafil KERE.

J'exprime également ma profonde gratitude à tous les membres de l'Association des Burkinabé de Clermont-Ferrand (ABUC), spécialement à Alassane, Serge, Guy, Edgard, pour leurs constants efforts pour l'intégration des nouveaux. Sans

oublier Francis, Lionel, Thierry, Régis, Ibrahim, Octave, Fidèle, Léandre, Alfred, Aïcha, Safi, Aïna, Mariam, Macoura, Axelle, Leïla, Larissa, Alima et Amalle. Vous m'avez fait me sentir en famille.

Sans oublier ceux et celles qui m'ont toujours soutenu à distance à savoir Franck OUEDRAOGO, Franck TANKOANO, Aristide, Alain, Joseph, Céleste, Gilchrist, Assane, Elvis, Safoura, Alassé et Leïticia. Aussi, j'aimerais adresser une pensée spéciale à mon cher ami Stéphane SOGLI.

Mes profonds remerciements vont à Carolle SANDAMBA et à Mohamed BOLY pour l'accompagnement, le soutien, et les encouragements qu'ils m'ont apportés tout au long de ce parcours. Je vous remercie du fond du cœur.

Et surtout, un grand merci à mes parents, mes frères et sœurs qui m'ont toujours apporté un environnement familial essentiel à mon épanouissement.

Je vous dois cette thèse.

Résumé

L'objectif de la thèse est d'analyser l'effet du Système d'Echange de Quotas d'Emissions de l'Union Européenne (SEQE-UE) sur la performance des entreprises. Pour ce faire, une base de données originale est construite, liant les entreprises soumises au SEQE à leurs variables financières. La base combine les informations sur les allocations initiales des entreprises obtenues de l'European Union Transaction Log (EUTL) et les caractéristiques financières des entreprises de la base DIANE. L'échantillon concerne les entreprises françaises du secteur manufacturier sur la période 2005-2018.

Le chapitre 2 analyse l'impact du SEQE sur l'efficacité technique des entreprises françaises sur la période 2005-2018. La méthode du score d'efficacité est utilisée pour mesurer la performance des entreprises et celle des doubles différences pour comparer les entreprises soumises au SEQE (traitées) et celles non soumises (contrôle). Nous constatons que le SEQE n'a pas d'effet sur l'efficacité des entreprises de notre échantillon. Il semblerait que la contrainte environnementale ne soit pas assez forte pour entraîner une différenciation de l'efficacité entre les deux groupes. Toutefois, le SEQE a un effet différent en fonction des secteurs d'activité. Les entreprises traitées dans l'industrie du papier présentent une diminution de l'efficacité technique par rapport au groupe non traité alors qu'une augmentation de l'efficacité apparaît pour les entreprises traitées de l'industrie alimentaire. En revanche, le SEQE ne semble pas avoir d'effet significatif sur l'efficacité du secteur de l'automobile, de la chimie, de la métallurgie et des minéraux.

Le chapitre 3 étudie l'effet du SEQE sur la structure du capital des entreprises françaises sur la période 2007-2018. Recourant à l'analyse d'impact, il est montré que les entreprises participant au SEQE présentent un taux d'endettement plus important que les entreprises non participantes. Afin de considérer l'effet de la distribution initiale des quotas, l'échantillon d'entreprises traitées est divisé en quatre parties en fonction de leur quartile d'allocation initiale. Les résultats indiquent que les entreprises qui ont le taux d'endettement le plus élevé sont

celles qui ont reçu le moins d'allocations de quotas.

Par ailleurs, l'effet du SEQE sur la structure du capital des entreprises est observé durant la phase 2 contrairement à la phase 3, et concerne les entreprises intervenant sur les marchés nationaux. L'effet est différent selon les secteurs retenus. Nos résultats suggèrent que, face au SEQE, les entreprises aient anticipé le durcissement futur de la contrainte environnementale. Celles qui recevaient le moins de quotas gratuits se sont mises en conformité en investissant dans des technologies de réduction de la pollution, financées par endettement. Les variables de politiques environnementales ont donc un impact sur la structure financière des entreprises.

Le chapitre 4 considère le lien entre la distribution initiale des quotas du SEQE et le niveau de production des entreprises françaises sur la période 2007-2018. Ayant recours à une fonction Translog et utilisant un estimateur de données de panel, il est montré que le niveau de production des entreprises a une relation positive avec le niveau de distribution initiale de quotas. Une analyse d'hétérogénéité est ensuite menée. Le résultat général est corroboré pour les entreprises qui reçoivent le moins de quotas et celles qui sont dans une position d'achat de quotas. Il concerne aussi les entreprises intervenant sur un marché domestique et est significatif pour les entreprises appartenant au secteur de l'alimentaire, des minéraux et de la métallurgie. Cette étude remet donc en cause le résultat théorique de [Montgomery \(1972\)](#) alors même que la dotation initiale des quotas est exogène et que le SEQE semble fonctionner de façon concurrentielle. Nos résultats suggèrent que les entreprises n'effectuent pas d'arbitrage statique, mettant en question l'efficacité du SEQE à réaliser les réductions d'émissions à moindre coût.

Mots-clés : Système d'Echange de Quotas d'Emissions (SEQE), Structure du capital, efficacité technique, allocations carbone, Production, marchés carbone

Codes JEL : D22, D47, O13, O14, Q38, Q53, Q54

Table des matières

Table des figures	xi
Liste des tableaux	xii
1 Introduction	1
1.1 Changement climatique	1
1.1.1 Conséquences du changement climatique	1
1.1.2 Accords internationaux	2
1.2 Politiques environnementales	3
1.3 Les expériences de marchés des quotas dans le monde	4
1.3.1 Le programme Acid Rain	5
1.3.2 Regional Greenhouse Gas Initiative (RGGI)	6
1.3.3 Système d'échange de quotas d'émissions de la Chine	6
1.4 SEQE (UE)	7
1.4.1 Phase 1	8
1.4.2 Phase 2	9
1.4.3 Phase 3	10
1.4.4 Phase 4	11
1.5 Objectifs et résultats de la thèse	11
2 Impact du système d'échange de quotas sur l'efficacité des entreprises françaises	14
2.1 Introduction	15
2.2 Fonctionnement du système de quotas et interaction avec les entreprises	18
2.2.1 Le SEQE	18
2.2.2 Les conséquences économiques du SEQE	19
2.3 Base de données et statistiques descriptives	23
2.3.1 Construction de la base de données	23
2.3.2 Statistiques descriptives	25
2.4 Méthodologie	28
2.4.1 Frontière d'efficacité	30
2.4.2 Doubles différences	32
2.5 Résultats	35

2.5.1	Frontière de production et efficience	35
2.5.2	Doubles différences	37
2.6	Conclusion	41
3	Does the EU-ETS affect the firm’s capital structure? Evidence from French manufacturing firms	52
3.1	Introduction	53
3.2	Background and related literature	55
3.2.1	The European Union Emissions Trading System	55
3.2.2	Effects of the ETS on firm performance	57
3.2.3	The financial structure of firms	59
3.3	Data and descriptive statistics	61
3.3.1	Database construction and variable selection	61
3.3.2	Descriptive statistics	63
3.4	Econometric setup	64
3.4.1	Matching	67
3.4.2	Weighting	68
3.5	Results and discussion	68
3.5.1	Main results	69
3.5.2	Heterogeneity analysis	71
3.6	Concluding remarks	73
3.7	Annexes	75
4	Impact de la distribution initiale de quotas sur la production	92
4.1	Introduction	93
4.2	SEQE-UE et distribution initiale des quotas	97
4.2.1	Phase 1 et Phase 2	97
4.2.2	Phase 3	98
4.2.3	Phase 4	100
4.3	Données	101
4.4	Étude économétrique	103
4.5	Résultats	105
4.6	Hétérogénéité	107
4.6.1	Niveau d’allocation initiale des quotas	107
4.6.2	Les différentes phases du SEQE	111
4.6.3	Marché domestique ou international	111
4.6.4	Les secteurs de production	114

4.7	Conclusion	116
4.8	Annexes	118
5	Conclusion	120
5.1	Résumé de la thèse	120
5.2	Points essentiels	123
5.3	Perspectives de recherche futures	124
	References	127

Table des figures

1.1	Évolution de la température globale	2
1.2	Carte des taxes et marchés carbone en 2022	5
1.3	Allocations totales (sans aviation - UE 27)	8
1.4	Evolution du prix du carbone	9
2.1	Différence d'efficacité par statut de traitement	37
2.2	Effet global du traitement	38
2.3	Impact du SEQE sur l'efficacité des entreprises par secteur	40
3.1	Mean free-of-charge allowances by sector, all phases (tons eq CO2) . . .	75
3.2	Density balance of propensity score (1 Nearest Neighbour)	76
3.3	Histogram balance of propensity score (1 Nearest Neighbour)	91

Liste des tableaux

2.1	Evolution du nombre d'entreprises traitées et non traitées par secteur .	26
2.2	Caractéristiques des entreprises traitées et non traitées	27
2.3	Estimation de la frontière de production	35
2.4	Elasticités partielles de production	36
2.5	Sections NAF	43
2.6	Effet du SEQE sur l'efficacité par année	44
2.7	Effet du SEQE sur l'efficacité par secteurs	45
2.8	Statistiques descriptives du secteur alimentaire	46
2.9	Statistiques descriptives du secteur du papier	47
2.10	Statistiques descriptives du secteur de la chimie	48
2.11	Statistiques descriptives du secteur des produits minéraux	49
2.12	Statistiques descriptives du secteur de la métallurgie	50
2.13	Statistiques descriptives du secteur de l'automobile	51
2.14	Effet du SEQE sur l'efficacité par phase	51
3.1	Treated and non-treated firms' characteristics	65
3.2	Number of firms by sector	66
3.3	Means of the covariates before adjustment	77
3.4	Means of the covariates after adjustment – Entropy balancing	78
3.5	Impact of the EU ETS on the capital structure	79
3.6	Effect of the EU ETS on capital structure by allocation quartile	80
3.7	Effect of the EU ETS by phase	81
3.8	Impact of the EU ETS according to the market	82
3.9	Impact of EU ETS according to the sector	83
3.10	Impact of the EU ETS according to the profitability	84
3.11	NAF and variables names	85
3.12	Probit estimates of the propensity score of being treated	86
3.13	Means after adjustment – 1 NN	87
3.14	Means after adjustment – calliper 0.05	88
3.15	Means after adjustment – IPW	89
3.16	Impact of the EU ETS by emission quota quartile (1 Nearest Neighbour)	90

4.1	Valeur du CLEF de 2013 à 2020 dans le SEQE	100
4.2	Valeur du CLEF de 2021 à 2030 dans le SEQE	100
4.3	Nombre d'entreprises par secteur	104
4.4	Statistiques descriptives	105
4.5	Effet de l'allocation sur la production	106
4.6	Effet de l'allocation sur la production par quartile d'allocations	109
4.7	Effet de l'allocation par niveau d'allocation	110
4.8	Effet de l'allocation par phase	112
4.9	Effet de l'allocation par statut d'exportation	113
4.10	Effet de l'allocation par secteur	115
4.11	Liste des entreprises avec extension de capacité	118
4.12	Statistiques descriptives	119

CHAPITRE 1

Introduction

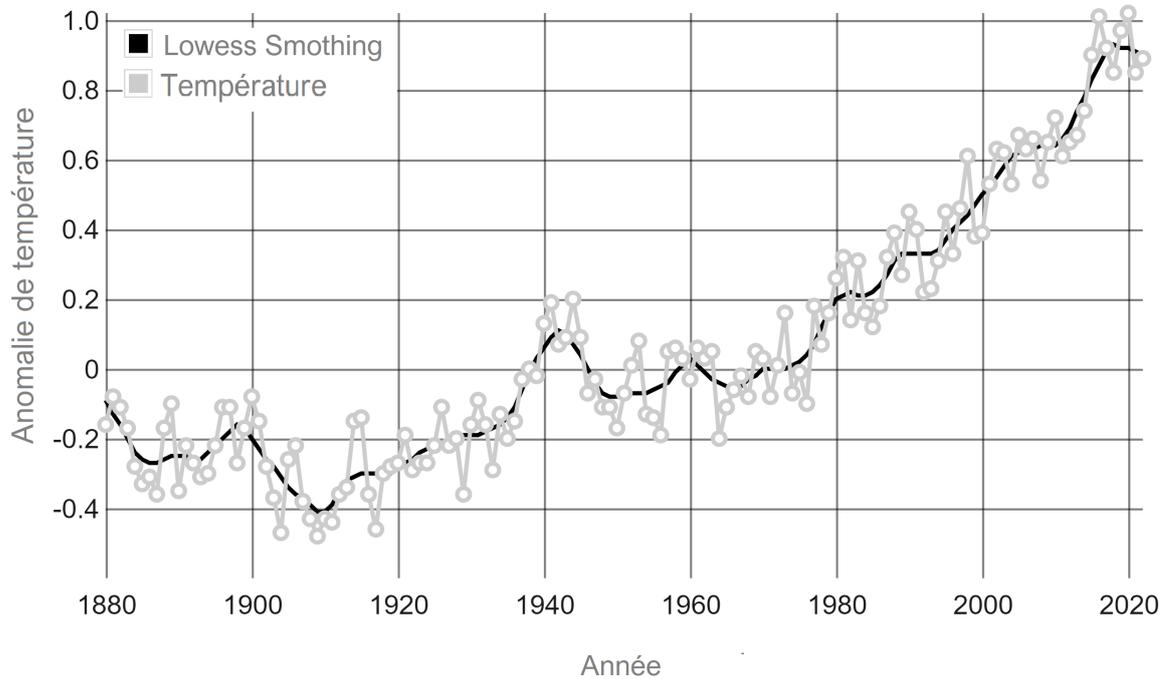
1.1 Changement climatique

1.1.1 Conséquences du changement climatique

Les différents rapports du GIEC confirment l'origine anthropique du changement climatique. Depuis la révolution industrielle, d'importantes quantités de gaz à effet de serre (GES) ont été rejetées dans l'atmosphère, provoquant une modification non naturelle du climat.

La combustion de combustibles fossiles, notamment le charbon, le pétrole et le gaz naturel pour produire de l'énergie est l'une des principales sources d'émissions de GES ([Anser et al., 2020](#); [Huijbregts et al., 2006](#); [Henriques and Borowiecki, 2017](#)). Ainsi, l'augmentation de la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère a entraîné une augmentation des températures moyennes mondiales comme illustré par le Graphique 1.1 ([NASA, 2023](#)).

Cet accroissement des températures a entraîné la fonte des glaciers, entraînant une élévation du niveau de la mer. Par conséquent, la vulnérabilité aux inondations côtières et à l'érosion s'aggrave, mettant en danger les communautés et les infrastructures dans les régions basses. Les modifications de saison ont provoqué des sécheresses plus fréquentes et plus intenses, ainsi que des épisodes de fortes précipitations, contribuant à un risque accru d'inondation ([Kim et al., 2020](#); [An et al., 2020](#)). De nombreuses espèces végétales et animales sont menacées, car leurs habitats deviennent inhospitaliers en raison des changements de température. Par exemple, les récifs coralliens présentent une sensibilité élevée aux variations de la température de l'océan, aboutissant à des phénomènes de blanchiment et à la dégradation de ces écosystèmes essentiels ([Song et al., 2021](#)).



GRAPHIQUE 1.1 – Évolution de la température globale

Source : ([NASA, 2023](#))

Le changement climatique a également d'importantes conséquences socio-économiques. Les perturbations de saisons dues aux conditions climatiques changeantes entraînent des pénuries alimentaires et des fluctuations des prix ([Emaziye et al., 2012](#); [Rop and Ib, 2017](#)). Les événements météorologiques extrêmes, tels que les ouragans et les vagues de chaleur, peuvent infliger des dommages aux infrastructures, perturber les réseaux d'approvisionnement d'eau et augmenter la probabilité de déplacement et de migration humaine ([Backhaus et al., 2015](#); [Skov et al., 2010](#)). Un autre inconvénient notable du réchauffement climatique est son impact significatif sur la prévalence des maladies liées à la chaleur et la propagation des maladies à transmission vectorielle ([Matzarakis and Amelung, 2008](#); [Lou et al., 2019](#)).

1.1.2 Accords internationaux

Pour lutter contre le changement climatique, des efforts mondiaux concertés sont nécessaires. Diverses politiques et accords internationaux ont été mis en place pour faciliter l'action collective et répondre à la nécessité de réduire les émissions de GES. Au cœur de la gouvernance internationale sur le climat se trouve la

Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Établie en 1992, elle organise des rencontres annuelles depuis 1995. Ainsi, les 197 parties ayant ratifié la convention (196 États et l'Union Européenne) participent à des Conférences des Parties (COP), pour négocier et faire progresser les objectifs liés au climat.

Une étape importante des réalisations de la CCNUCC est l'Accord de Kyoto signé en 1997 à la COP 3 et qui est entré en vigueur à partir de 2005. L'Accord de Kyoto met en avant le "principe des responsabilités communes" (Principe 7 de la déclaration de RIO) mais différenciées, reconnaissant les contributions et les capacités variables des différentes nations dans la lutte contre le changement climatique. Trois mécanismes sont ainsi désignés afin d'atteindre l'objectif de réduction à savoir un marché international de permis d'émissions, la mise en œuvre conjointe et le mécanisme de développement propre. Ce dernier est destiné à soutenir les pays en développement dans leurs initiatives de réduction d'émissions.

Une autre réalisation cruciale de la CCNUCC est la négociation de l'Accord de Paris, adopté en 2015 à la COP 21 et entré en vigueur en 2016. Cet accord historique vise à limiter le réchauffement climatique en dessous de 2 degrés Celsius par rapport aux niveaux pré industriels, tout en poursuivant des efforts pour limiter l'augmentation de la température à 1,5 degré Celsius. Il souligne l'impératif pour les pays de soumettre des contributions déterminées au niveau national, décrivant leurs objectifs de réduction des émissions et leurs stratégies.

Cependant, il faut noter que les décisions prises aux différentes COP ne sont pas assorties d'un mécanisme de sanction en raison de l'absence d'un organe suprême international ayant pouvoir sur tous les États. Les objectifs de réduction sont donc volontaires.

1.2 Politiques environnementales

L'analyse économique considère la pollution comme une externalité négative. N'ayant pas de prix, les dommages issus de la pollution ne sont pas supportés par les émetteurs. Ils affectent la société sous forme de coûts supplémentaires, de désutilité ou de dommages environnementaux. Les économistes proposent des méthodes pour internaliser ces coûts externes et créent des incitations à la réduction de la pollution. Il s'agit d'implémenter le niveau de pollution socialement optimal et de restaurer ainsi le premier théorème de l'économie du bien-être. La

taxe Pigouvienne et les marchés de quotas peuvent ainsi être mise en place.

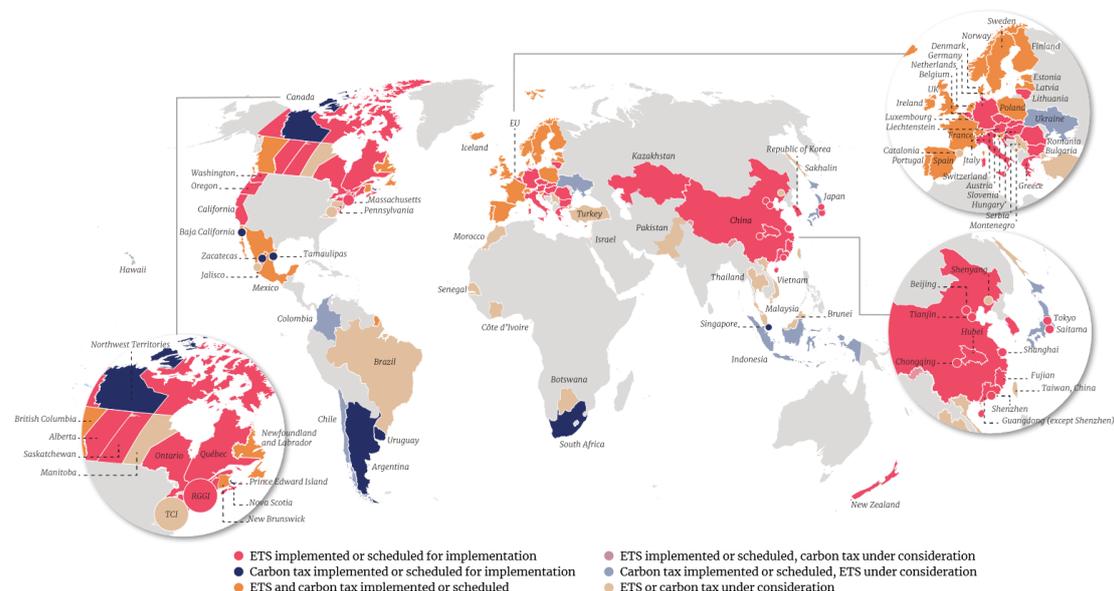
Selon [Pigou \(1920\)](#), l'internalisation de l'externalité nécessite l'intervention de l'Etat. En imposant le paiement d'une taxe sur les émissions polluantes, l'Etat contraint les pollueurs à prendre en compte l'externalité. Les taxes Pigouviennes présentent une approche axée sur le marché, permettant aux entreprises de choisir les stratégies les plus rentables pour réduire les émissions en fonction de leurs caractéristiques. Elles permettent d'obtenir le niveau de pollution socialement optimal à moindre coût. Les revenus ainsi générés peuvent être utilisés pour compenser les individus affectés ou réparer les dommages.

Le concept de permis d'émissions négociables (ou quotas de pollution) a été développé ultérieurement par [Crocker \(1966\)](#) et [Dales \(1968\)](#). Cette approche consiste à établir une limite sur la quantité totale de pollution autorisée, puis des droits d'émission sont répartis entre les participants. Ces droits peuvent être échangés, permettant aux entreprises qui peuvent réduire les émissions à moindre coût de vendre leurs droits excédentaires à celles qui subissent des coûts de réduction plus élevés. Ce marché de quotas permet de faire émerger un prix pour les quotas d'émissions. Ce dernier induit une incitation économique à la réduction des émissions. L'avantage de cet instrument réside dans sa capacité à permettre aux décideurs de contrôler la quantité maximale de pollution à atteindre, fixant ainsi un objectif de réduction clair. Tout comme la taxe Pigouvienne, les marchés de quotas permettent d'atteindre les objectifs de réduction de la pollution au moindre coût. Par ailleurs, ce résultat est obtenu quelle que soit l'allocation initiale des quotas ([Montgomery, 1972](#)). Ce résultat donne donc une grande flexibilité aux pouvoirs publics dans la mise en œuvre de la politique environnementale.

1.3 Les expériences de marchés des quotas dans le monde

Plusieurs pays ou régions ont introduit des marchés de quotas dans l'objectif de réduire la pollution atmosphérique ou spécifiquement lutter contre le changement climatique. Au total en 2022 ([World Bank, 2022](#)) 68 initiatives de tarification carbone sont actives dans le monde dont 37 systèmes de taxe carbone et 34 marchés de quotas (Graphique 1.2). Ce sont ainsi 23% des émissions globales de la planète qui sont couvertes. Plusieurs initiatives, du fait de leur taille et leur réussite montrent une dynamique mondiale dans le sens de la prise en compte du

changement climatique.



GRAPHIQUE 1.2 – Carte des taxes et marchés carbone en 2022

Source : (World Bank, 2022)

1.3.1 Le programme Acid Rain

Le premier grand marché de quotas mis en place est le programme Acid Rain. Etabli dans le cadre du titre IV des amendements de 1990 du Clean Air Act, il a été mis en œuvre en 1995 dans le but de réduire les pluies acides en contrôlant les émissions de dioxyde de soufre et d'oxydes d'azote des centrales électriques à combustible fossile de 50% par rapport aux émissions de 1985-1987 (Stavins, 1998). La première phase, qui a duré de 1995 à 1999, a concerné les 110 centrales présentant les émissions de dioxyde de soufre les plus élevées mesurées en 1985. Un plafond a été établi, et après répartition, les entreprises avaient la possibilité d'échanger des permis. Ce système d'échange de quotas visait à atteindre une réduction des émissions à moindre coût. Cependant, pendant la phase 1, plusieurs études ont remis en question cette hypothèse. Carlson et al. (2000), en comparant les coûts à une politique de normes uniformes, ont constaté que les coûts du programme étaient légèrement plus élevés. Selon Swinton (2004) les coûts marginaux de réduction n'étaient pas égalisés et l'incertitude a entraîné une réduction des économies potentielles (Arimura, 2002).

Pendant la phase II, qui a débuté en 2000, le programme s'est étendu à environ 2000 unités, ce qui a permis d'inclure toutes les centrales ayant une capacité de production supérieure à 25 MW. Le plafond a également été réduit à 8,95

millions de tonnes. L'Agence de Protection Environnementale (EPA) a rapporté que le programme avait majoritairement atteint son objectif en entraînant des réductions significatives des émissions de dioxyde de soufre de la part des centrales réglementées (Barreca et al., 2021). Cependant, des inquiétudes ont été soulevées concernant les effets négatifs potentiels sur la santé, parce que, contrairement à l'établissement de normes uniformes, ce programme pourrait déplacer les émissions vers des zones plus densément peuplées.

1.3.2 Regional Greenhouse Gas Initiative (RGGI)

Le RGGI, mis en place en 2009, est une initiative concernant 10 États du nord-est des États-Unis¹. Son objectif principal est de limiter les émissions de gaz à effet de serre, en particulier de dioxyde de carbone (CO₂), issues de la production d'électricité grâce à un programme régional d'échange d'émissions. L'allocation initiale des droits d'émission s'est principalement effectuée par le biais de ventes aux enchères, et par la suite, les entreprises pouvaient échanger leurs quotas alloués sur un marché secondaire, avec une distribution de 97 millions de tonnes de CO₂ en 2022 (ICAP, 2023). Une particularité de ce programme réside dans l'établissement d'un prix plancher dès le départ, en deçà duquel les droits d'émission ne pouvaient pas être achetés (Murray and Maniloff, 2015). Ce programme a permis de réduire de manière significative la consommation de charbon de 73% et de gaz naturel de 30% parmi les États membres ainsi qu'une réduction annuelle des émissions de carbone de 4,8 millions de tonnes (Yan, 2021). CERES (2016) souligne que le programme a contribué à une réduction de près de 35% des émissions entre 2009 et 2014 pour les États participants, par rapport à seulement 12% pour les États non participants, ce qui équivaut à des bénéfices économiques estimés à 11 milliards de dollars.

1.3.3 Système d'échange de quotas d'émissions de la Chine

Le Système d'Échange de Quotas d'Émissions (SEQE) de la Chine a été instauré dans le but de réduire les émissions de gaz à effet de serre par unité de Produit Intérieur Brut (PIB) de 18% d'ici 2025 par rapport aux niveaux de 2020 (ICAP, 2023). Son déploiement a débuté par une phase pilote qui concernait sept ré-

1. Le Connecticut, le Delaware, le Maine, le Maryland, le Massachusetts, le New Hampshire, le New Jersey, l'État de New York, le Rhode Island et le Vermont

gions², chacune se situant à divers stades de développement (Zhang, 2020). Après l’approbation par la Commission Nationale de Développement et des Réformes (NDRC), les phases d’échanges ont été lancées en 2013, couvrant ainsi 40% du PIB et servant de modèle pour l’établissement du système national d’échange qui a débuté en 2021. Plus de 2000 entreprises sont soumises à ce système et ont reçu des allocations gratuites en fonction de leur capacité de production. Le SEQE de la Chine est le système qui couvre le plus grand volume d’émissions de carbone, avec 4,5 milliards de tonnes (ICAP, 2023) de CO₂, comparé aux 1,5 milliards de tonnes du SEQE de l’Union Européenne. Une préoccupation majeure de ce programme est la présence sur le marché de 360 millions de tonnes de CO₂ à la fin de l’année 2021 qui demeureront pour les phases à venir (Lushan, 2022). Un mécanisme de stabilité a été annoncé pour éviter tout déséquilibre éventuel.

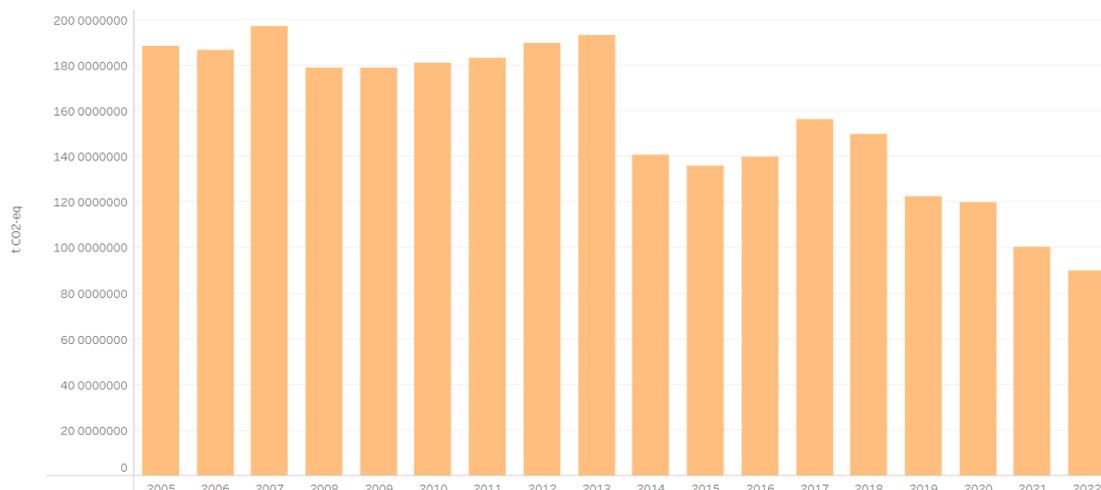
1.4 SEQE (UE)

L’établissement du SEQE en Europe n’a pas été un processus linéaire. Lancées en 1992, les négociations pour la mise en place d’une taxe carbone au niveau européen n’ont pas abouti en raison de préoccupations concernant la répartition des recettes ainsi que l’autorité fiscale qui serait accordée à l’Union européenne sur les Etats membres indépendants. Par conséquent, en raison de sa flexibilité et de son efficacité économique, le système d’échange de quotas a obtenu le soutien de divers groupes de pression et ONGs, y compris certains qui étaient précédemment opposés à la mise en place d’une taxe carbone. En réponse aux défis posés par l’établissement d’une taxe carbone et à la nécessité de respecter les engagements du Protocole de Kyoto en 1992, le SEQE a été adopté par la directive quotas (2003).

A sa création, le SEQE couvre plus de 12 000 entreprises avec 1882815268 tonnes de CO₂ qui ont été distribuées aux entreprises en 2005. Avec un plafond qui diminue au cours du temps, ce sont 896659531 tonnes qui ont été distribuées en 2022 (EEA, 2023) (Graphique 1.3). Les allocations peuvent ensuite être échangées sur un marché secondaire. Le prix (Graphique 1.4) fluctue en fonction de l’offre et de la demande (Trading Economics, 2023). Atteignant 15 euros en 2005, le prix a baissé jusqu’à atteindre un montant quasiment nul à la fin de la première phase. A partir de la deuxième phase, il a commencé à environs 4 euros en 2008 jusqu’au pic de 107 euros en février 2023. Ces fluctuations sont influencées par les décisions

2. Beijing, Chongqing, Guangdong, Hubei, Shanghai, Tianjin, et Shenzhen

politiques ainsi que celles des entreprises sur le marché.



GRAPHIQUE 1.3 – Allocations totales (sans aviation - UE 27)

Source : (EEA, 2023)

La mise en œuvre du SEQE de l'UE est divisée en différentes phases, chacune ayant des caractéristiques distinctes qui ont permis à la politique d'évoluer. La quantité allouée, les fluctuations des prix et les méthodes d'allocation changent d'une phase à l'autre, ce qui affecte différemment les entreprises.

1.4.1 Phase 1

La Phase 1 a été conçue comme une phase pilote avec l'objectif d'obtenir l'acceptation des entreprises concernées. Elle a concerné la période 2005-2008. Les entreprises craignaient l'impact potentiellement négatif sur leur compétitivité de cette politique environnementale. Cette phase a permis aux décideurs de lancer le programme, de faire émerger un prix initial et d'établir le cadre administratif. La principale préoccupation concernait le plafond des émissions qui a été fixé en fonction des estimations de réductions nécessaires afin de contribuer à l'objectif international fixé à Kyoto. Une fois le plafond fixé, la décision a dû être prise quant à la distribution initiale des quotas, gratuite ou payante. La vente de quotas comme principal mode de distribution génère des revenus qui peuvent être réinvestis, mais cette procédure aurait réduit la propension d'adoption de la politique. Par conséquent, il a été décidé qu'un maximum de 5% des quotas pourraient être mis aux enchères. Les quotas gratuits ont été attribués en fonction des émissions historiques des entreprises. Ils pouvaient être échangés sur le marché secondaire, permettant aux entreprises disposant de quotas excédentaires de les vendre à celles



GRAPHIQUE 1.4 – Evolution du prix du carbone

Source : ([Trading Economics, 2023](#))

en déficit. Le prix du carbone s'est initialement établi entre 10 et 30 euros au début de la Phase 1. Cependant, fin 2006, lorsque les entreprises ont disposé de davantage d'informations sur l'utilisation des quotas, le prix a chuté jusqu'à zéro en fin 2007 en raison d'un excédent d'environ 280 millions de quotas ([Anderson and Di Maria, 2011](#)). La Commission européenne a ainsi interdit le report de quotas non utilisés en phase 2.

La Phase 1 a servi de phase pilote au cours de laquelle les décideurs ont cherché à promouvoir l'adoption de la politique, ce qui a conduit à la décision de distribuer la majorité des quotas gratuitement. La crainte de fuite de carbone a conduit à une allocation excessive de quotas. Ce surplus, combiné à l'impossibilité de reporter les quotas sur les périodes futures, a entraîné une baisse des prix des quotas à la fin de la première phase du SEQE-UE.

1.4.2 Phase 2

La Phase 2, qui s'est étendue de 2008 à 2013, correspond à la période de conformité au protocole de Kyoto. Au cours de cette phase, la Commission européenne a décidé de réduire la quantité de quotas attribuée gratuitement et d'augmenter la proportion

de quotas mise aux enchères en la faisant passer à 10%. Les pays ont conservé la flexibilité de distribuer les quotas, mais en bénéficiant d'informations plus précises obtenues grâce à l'expérience de la première phase. Pour cette deuxième phase, les quotas pouvaient être reportés pour les périodes futures.

Au début de la Phase 2, le prix des quotas était de 25 euros, mais il a chuté en raison de la crise de 2009. Cette crise a réduit la production globale, ce qui a généré un excédent d'environ 80 millions de tonnes de CO₂. En conséquence, le prix est tombé à 10 euros en 2009. Après 2009, une hausse des prix a été observée, ce qui suggère que la reprise de l'activité économique a entraîné une augmentation de la production, faisant monter le prix à 16 euros en 2011. Cependant, la présence d'un excédent de quotas a provoqué une nouvelle baisse du prix, qui s'est stabilisé à environ 4 euros à la fin de la Phase 2. Cette fois, le prix n'est pas descendu à zéro en raison de la possibilité pour les entreprises de reporter les quotas sur les périodes futures.

1.4.3 Phase 3

La Phase 3, s'étendant de 2013 à 2020, marque une période de réformes dans l'histoire du SEQE. Tout d'abord, les allocations ont été centralisées au niveau de la Commission européenne. Cela a ajouté de la complexité administrative en raison de la nécessité d'examiner fréquemment les propositions d'allocations. De plus, la Commission a envoyé un signal fort concernant la durabilité à long terme de la politique. Le pourcentage d'allocations à mettre aux enchères a été porté à 100% pour les entreprises du secteur de l'électricité, car elles avaient pu répercuter leurs coûts sur les consommateurs au cours des phases précédentes en raison de leur faible exposition à la concurrence internationale (Sijm et al., 2006). Les allocations gratuites n'étaient plus attribuées en fonction des émissions historiques, mais en fonction de référentiel de performance d'émission, dit benchmark. Les entreprises exposées au risque de fuite de carbone ont été identifiées pour continuer à recevoir des allocations gratuites. Les actions de lobbying ont réussi à rendre 90% des entreprises éligibles à ce dispositif.

Une Réserve de Stabilité du Marché a été mise en place en 2019. Elle permet d'ajuster automatiquement à la hausse ou à la baisse l'offre de quotas à mettre aux enchères pour éviter les excédents. Les premières rumeurs concernant son introduction ont permis aux entreprises d'anticiper un resserrement de la politique. À la fin de la troisième phase, le prix des allocations s'était stabilisé à 25 euros en

2020.

1.4.4 Phase 4

La phase 4 s'étend de 2021 à 2030. Au cours de cette phase, l'objectif de réduction linéaire passe de 1,74% à 2,2% pour accélérer le resserrement de la politique. De plus, il est prévu la suppression progressive des allocations accordées aux entreprises considérées comme étant à risque de fuite de carbone d'ici 2026. Les recettes des enchères provenant des allocations seront affectées à un fonds pour l'innovation et la modernisation. Avec la mise en place de la Réserve de Stabilité du Marché, l'offre sera mieux contrôlée pour éviter les excédents.

1.5 Objectifs et résultats de la thèse

L'objectif de la thèse est d'explorer les impacts du SEQE de l'Union Européenne sur la performance des entreprises. Plus précisément, nous considérons les entreprises françaises du secteur manufacturier soumises au SEQE durant la période 2005-2018. Le SEQE se distingue par son caractère international contrairement à d'autres marchés carbone limités à un seul pays. Bien qu'il soit le deuxième plus grand marché d'échange de quotas d'émissions dans le monde en termes de quantités d'émissions couvertes (celui de la Chine est devenu le plus grand en 2021), il reste celui qui possède le plus grand volume d'échange. Il s'étend sur une période plus longue et est également celui dont les données sont les plus accessibles, ce qui permet d'effectuer une analyse sur un plus long terme. Nous considérons les entreprises du secteur manufacturier en raison de leur exposition importante à la concurrence internationale.

Nos données proviennent de la base DIANE, qui agrège les informations financières des entreprises françaises. De plus, nous utilisons des données extraites du Journal des transactions de l'Union européenne afin d'obtenir des informations sur l'allocation de quotas ou les émissions vérifiées des entreprises. La combinaison de ces deux ensembles de données au niveau entreprise nous permet de mener une analyse désagrégée. Peu d'études se sont penchées sur une analyse de l'effet du SEQE en France en utilisant des données financières d'entreprises. Ainsi, nous répondrons à notre question de recherche dans les trois prochains chapitres de notre travail en analysant la relation entre le SEQE et l'efficacité des entreprises, leur structure du capital et leur niveau de production.

Dans le chapitre 2, nous évaluons l'effet du SEQE sur l'efficacité des entreprises françaises grâce à l'utilisation de la méthode des doubles différences doublement robustes. Notre échantillon comprend 10 323 entreprises soumises au SEQE et 305 non-membres. L'efficacité est mesurée en utilisant la frontière d'efficacité, permettant de déterminer les scores d'efficacité en fonction des secteurs respectifs. Par conséquent, nous sommes en mesure de quantifier l'impact de la participation au SEQE sur l'efficacité des entreprises françaises. Selon les résultats obtenus, les entreprises soumises au SEQE voient une amélioration de leur efficacité par rapport aux non-participantes et ce, à partir de 2016. En analysant l'impact au sein des secteurs les plus représentés de notre échantillon, une hétérogénéité des résultats apparaît. Le secteur alimentaire présente des résultats similaires à ceux observés dans l'échantillon global, tandis que celui du papier affiche des résultats contraires. Les autres secteurs présentent des effets négligeables.

Le chapitre 3 de la thèse évalue l'impact du SEQE sur la structure financière des entreprises. La structure du capital est représentée par la proportion de la dette par rapport à l'actif immobilisé. En utilisant les données de 392 entreprises membres du SEQE et de 10 235 non-membres sur la période 2007-2018, nous réalisons une analyse comparative en utilisant la méthode de l'entropie balancing. Les résultats révèlent que les entreprises participant au SEQE présentent une plus grande part de la dette dans leur structure de capital par rapport aux non-participantes. Par ailleurs, les entreprises qui ont les taux d'endettement les plus élevés sont celles qui ont reçu le moins d'allocations de quotas. Nous effectuons également une analyse par secteurs, par phases et en fonction du marché dans lequel intervient l'entreprise (domestique ou international) et nous trouvons une hétérogénéité dans les résultats observés.

Le chapitre 4 cherche à déterminer si le SEQE a un impact sur le niveau de production des entreprises. En étudiant un groupe de 376 entreprises participantes au SEQE, nous examinons la relation entre la quantité de quotas reçue et le niveau de production. Notre analyse s'étend sur la période 2007-2018 et adopte la méthode des effets fixes. Nous identifions un effet positif de l'allocation initiale sur la production des entreprises soumises au SEQE. En effet, une augmentation de 1% des allocations entraîne une augmentation de 0.011% du niveau de production. Cet effet est le plus élevé pour les entreprises ayant reçu initialement le moins de quotas et est faible pour les entreprises qui en ont reçu le plus. Ce résultat suggère que les entreprises prennent leurs décisions de production en prenant en compte leur allocation initiale. Cet effet dépend de la phase étudiée, du secteur et

du marché dans lequel intervient l'entreprise.

En résumé, les résultats de la thèse montrent que le SEQE n'a pas engendré de détérioration des indicateurs de performance des entreprises participantes. Cependant, suite à l'introduction de la Réserve de Stabilité du Marché, une augmentation notable des prix a été observée, passant de 18 euros en 2018 à environ 90 euros en 2022. Ces modifications substantielles sont susceptibles de remodeler considérablement le comportement des entreprises vis-à-vis de cette politique. Acquérir une compréhension approfondie des mécanismes opérationnels du SEQE de l'Union Européenne revêt une importance capitale. Cette démarche vise à servir de base pour l'élaboration de politiques plus efficaces visant à réduire les émissions de carbone afin de lutter contre le changement climatique.

CHAPITRE 2

Impact du système d'échange de quotas sur l'efficacité des entreprises françaises

Ce chapitre analyse l'impact du système d'échange de quotas d'émissions de l'Union Européenne (SEQE-UE) sur l'efficacité technique des entreprises françaises sur la période 2005-2018. Nous menons notre analyse en utilisant le score d'efficacité pour mesurer la performance des entreprises et une méthode des doubles différences pour comparer les entreprises concernées (traitées) avec celles qui sont similaires, mais qui ne sont pas concernées (contrôle). Pour ce faire, nous construisons une base de données originale, liant les entreprises françaises du SEQE à leurs données financières. Cette base nous permet de faire une analyse par secteur et donc d'obtenir des résultats désagrégés. Nous montrons que le SEQE accroît l'efficacité technique des entreprises à partir de 2016, mais que cet effet est non significatif pour les années antérieures. Lorsque nous considérons les secteurs séparément, nous constatons que le SEQE a un effet différent en fonction des secteurs des entreprises de notre échantillon. Ce résultat suggère que la contrainte environnementale a des effets différenciés sur les entreprises en fonction de leur mode de production. Les entreprises traitées dans l'industrie du papier présentent une diminution de l'efficacité technique par rapport au groupe non traité alors qu'une augmentation de l'efficacité apparaît pour les entreprises traitées de l'industrie alimentaire. En revanche, le SEQE ne semble pas avoir d'effet significatif sur l'efficacité du secteur de l'automobile, de la chimie, de la métallurgie et des minéraux.

Keywords : Efficacité technique, performance des entreprises, doubles différences, frontière de production stochastique, marché de quotas

Codes JEL : Q52, D22, Q38, Q48

2.1 Introduction

En janvier 2005, l'Union Européenne a lancé une expérience très ambitieuse afin de réduire ses émissions de carbone. Elle crée le système d'échange de quotas d'émissions (SEQE-UE) qui couvre environ 45% des émissions totales de CO₂ de l'Union Européenne et représente le plus grand système d'échange de quotas de carbone au monde (ICAP, 2020). Ce système est une pierre angulaire de la politique de l'Union Européenne visant à respecter ses engagements de réduction des émissions imposés par le protocole de Kyoto tenu en 1997. Pour sa première phase (2005-2007), le SEQE-UE s'applique aux centrales électriques et autres installations liées à la combustion de combustibles d'une capacité de production supérieure à 20 mégawatts ainsi qu'à un large éventail d'entreprises de secteurs industriels¹ (ICAP, 2020) et inclut l'aviation à partir de la phase II (2008-2012). La phase 3 (2013-2020) intègre principalement le secteur des métaux ferreux et non ferreux et l'aluminium de première fusion et d'affinage. Le cadre législatif du SEQE-UE pour la phase 4 (2021-2030) a été révisé en 2018 afin de garantir des réductions d'émissions à l'appui de l'objectif de l'UE pour 2030 (-40% par rapport au niveau de 1990) et de la contribution de l'UE à l'accord de Paris.

Chaque pays, à travers son Plan National d'Allocation (PNA), fixe la quantité de quotas appelée Allocation de l'Union Européenne (AUE) octroyée à chaque entreprise. Chaque AUE correspond à une tonne d'équivalent carbone. L'objectif de cette politique de marché des quotas est double. Il s'agit d'atteindre un niveau de réduction des émissions de CO₂ à moindre coût (Montgomery, 1972) et de renforcer l'innovation, de façon à faciliter la transition vers une économie à faible intensité de carbone.

Les entreprises, pour être en conformité, peuvent réduire leurs émissions, acheter des quotas de pollution ou investir dans des technologies moins émettrices de dioxyde de carbone. Même si les marchés de quotas de pollution permettent des réductions d'émission à moindre coût, ils font toutefois peser des nouveaux coûts sur les entreprises. Cette contrainte environnementale pourrait ainsi diminuer leurs bénéfices et affecter leur compétitivité.

En effet, les entreprises soumises à une forte concurrence internationale pourraient perdre des parts de marché en raison de l'augmentation de leurs charges due à cette

1. Plus précisément, la phase 1 inclut les secteurs suivants : Électricité et chaleur, raffineries, acier, fer, ciment et chaux, verre, céramique, pâte à papier.

contrainte. L'effet du havre de pollution introduit par Copeland and Taylor (2004) stipule que la réglementation en matière de pollution a un effet sur les décisions de localisation des entreprises et les flux commerciaux. McGuire (1982), en considérant les effets d'une politique environnementale unilatérale lorsque les facteurs de production sont mobiles, montre que les entreprises dont la réglementation est relativement plus stricte perdent en compétitivité et les industries réglementées se relocalisent vers l'économie la moins réglementée. Plusieurs études portant sur les États-Unis montrent que les réglementations environnementales ont influencé les décisions de localisation des entreprises (Becker and Henderson, 2000; List et al., 2003), leur activité industrielle (Kahn, 1997), ainsi que leurs décisions d'investissements (Keller and Levinson, 2002).

Cependant, l'idée selon laquelle une réglementation environnementale n'est qu'une source de coûts et entraîne une perte de compétitivité pour les entreprises concernées est controversée. Selon l'hypothèse de Porter, la politique environnementale peut générer des avantages concurrentiels. Porter and Van der Linde (1995) soutiennent que les objectifs de protection de l'environnement et la compétitivité commerciale peuvent se rejoindre sur le long terme. La pollution est un "bi-produit" produit par le système de production et devient un coût en présence de politique environnementale. La réduction de la pollution est donc similaire à un perfectionnement du processus de production. Ainsi, les réglementations environnementales peuvent accélérer l'innovation.

Dans le cas spécifique du SEQE, les études empiriques ne soutiennent pas l'idée selon laquelle le SEQE a eu des conséquences négatives importantes sur les performances économiques des entreprises. Elles montrent davantage une hétérogénéité des résultats en fonction des différents secteurs et pays étudiés (Martin et al., 2014). Par conséquent, davantage d'études sont nécessaires afin de mieux comprendre les conséquences du SEQE, que ce soit au niveau d'un pays, d'un secteur ou d'une entreprise. Une compréhension approfondie de la manière dont les entreprises s'adaptent au SEQE est essentielle, ce qui permettra une meilleure définition de cette politique par les pouvoirs publics, que ce soit au niveau de l'Europe ou dans d'autres régions du monde.

L'objectif de notre étude est d'évaluer l'effet du SEQE sur l'efficacité technique des entreprises françaises au cours de la période 2005-2018. Dans la littérature, peu d'études s'intéressent au cas des entreprises françaises soumises au SEQE. La France constitue un champ d'études particulier puisqu'elle regroupe 8% du nombre

d'entreprises totales soumises au SEQE. Les émissions vérifiées sur la période 2005-2006 s'élèvent à 127 mégatonnes de carbone, soit 6% des émissions totales du SEQE, ce qui la place comme 6^e pays émetteur parmi ceux participant au SEQE (Ellerman and Buchner, 2008). Par ailleurs, c'est un pays souvent considéré comme étant assez strict concernant le droit du travail, ce qui constitue déjà une contrainte pour les entreprises Scarpetta and Tressel (2002). Notre analyse permettra de mieux appréhender les effets du SEQE dans cet environnement économique spécifique.

Pour ce faire, nous avons besoin des entreprises soumises au SEQE ainsi que de leurs données financières. La base EUTL (European Union Transaction Log) et la base DIANE (Disque pour l'analyse économique) nous fournissent des informations sur ces différents éléments. Ainsi, nous construisons une base de données originale, qui contient les données d'entreprises françaises du secteur manufacturier participant au SEQE augmentée de leurs caractéristiques financières. Cette base nous permet de faire une étude de l'effet du SEQE plus désagrégée. Nous menons notre analyse en utilisant le score d'efficacité pour mesurer la performance des entreprises et la méthode des doubles différences pour comparer les entreprises concernées (traitées) avec celles qui sont similaires, mais qui ne sont pas concernées (contrôle). Nous montrons que le SEQE accroît l'efficacité technique des entreprises à partir de 2016, mais que cet effet est non significatif pour les années antérieures. Par conséquent, le SEQE peut être considéré globalement comme un système suffisamment flexible pour permettre aux entreprises d'améliorer ou de ne pas subir de baisse d'efficacité. Nous constatons également que le SEQE a des effets assez hétérogènes en fonction des secteurs et de la période étudiée. Les entreprises traitées dans l'industrie du papier présentent une diminution de l'efficacité technique par rapport au groupe non traité alors qu'une augmentation de l'efficacité est constatée pour les entreprises de l'industrie alimentaire. En revanche, le SEQE n'a pas d'effet sur l'efficacité des autres secteurs. Des analyses ciblées sur le secteur du papier devraient être menées afin d'identifier des éventuels facteurs de blocage de l'amélioration de l'efficacité non forcément liés à la politique environnementale. Ainsi, le régulateur pourrait mettre en place des politiques sectorielles aux côtés de la politique environnementale intersectorielle afin d'accroître davantage l'efficacité technique des entreprises.

Le chapitre est structuré de la façon suivante. La section 2 examine le marché du SEQE et ses interactions avec les entreprises. Les données utilisées seront présentées dans la section 3 et la méthodologie dans la section 4. La section 5 présentera les résultats et nous concluons dans la section 6.

2.2 Fonctionnement du système de quotas et interaction avec les entreprises

Dans cette section, nous commencerons par une présentation du SEQE. Ensuite, nous examinerons les études portant sur les conséquences du SEQE sur les entreprises.

2.2.1 Le SEQE

À l'issue du protocole de Kyoto en 1997, l'Union Européenne s'est engagée à réduire ses émissions de dioxyde de carbone de 8% par rapport aux niveaux de 1990 sur la période 2008-2012. Afin d'atteindre cet objectif, elle adopte en 2003 la directive 2003/87/CE, dite directive quotas ([Commission Européenne, 2003](#)), qui définit le cadre législatif du marché européen du carbone. Il concerne 11500 installations correspondant à environ deux milliards de tonnes de CO₂. Ce marché couvre le dioxyde de carbone (CO₂) provenant de la production d'électricité et de chaleur, des secteurs industriels à forte intensité énergétique (notamment les raffineries de pétrole, les aciéries et la production de fer, d'aluminium, de métaux, de ciment, de chaux, de verre, de céramique, de pâte à papier, de papier, de carton, d'acides et de produits chimiques organiques), et de l'aviation commerciale au sein de l'espace économique européen. Il inclut également le protoxyde d'azote (N₂O) issu de la production d'acide nitrique, d'acide adipique, de glyoxal et d'acide glyoxylique et les perfluorocarbones (PFC) issus de la production d'aluminium. Ces différents gaz à effet de serre sont convertis en tonne équivalent carbone.

Pour la première phase en 2005, sont concernés 27 pays de l'Union Européenne², qui sont rejoints par la Norvège, l'Islande et le Liechtenstein en 2008 puis la Croatie en 2013 ([UE, 2015](#)). Pour la phase 1 et 2, chaque pays européen devait choisir son Plan National d'Allocation (PNA) sous réserve de l'approbation de la commission Européenne. Cela consistait, pour chaque pays, à déterminer quelle quantité de quotas serait attribuée à chacune de ses entreprises afin d'atteindre un objectif de réduction national. L'ensemble des AUE constitue donc le plafond de pollution national. À partir de 2013 (phase 3), la commission Européenne a décidé de réduire

2. Autriche, Belgique, Danemark, Finlande, France, Allemagne, Grèce, Irlande, Italie, Luxembourg, Pays-Bas, Portugal, Espagne, Suède et le Royaume-Uni appelés EU15. Ils sont rejoints ensuite par la Chypre, la République Tchèque, l'Estonie, la Hongrie, la Lettonie, la Lituanie, Malte, la Pologne, la Slovaquie et la Slovaquie (EU10), puis la Roumanie et la Bulgarie les rejoignent le 1er Janvier 2007.

les quantités de quotas distribuées de 1,74% chaque année afin de rendre plus drastique la contrainte environnementale.

La distribution initiale des quotas est principalement gratuite. La quantité de quotas allouée à chaque entreprise est calculée à partir de la part de ses émissions dans son secteur ainsi que de ses émissions historiques. Les pays pouvaient aussi les vendre aux enchères à hauteur de 5% du Plan National d'Allocations dans la phase 1 et 10% dans la phase 2. Toutefois, cette option a été peu utilisée et seulement 0.13% des allocations ont été vendues aux enchères pendant la phase 1 avec une légère augmentation pendant la phase 2 (Ellerman and Buchner, 2007). Le passage d'une distribution gratuite à payante s'opère de façon progressive. Depuis la phase 3, les producteurs d'électricité, étant soumis à une plus faible concurrence, doivent acheter la totalité de leurs quotas et la part des quotas mise aux enchères pour les autres secteurs passe à 57%. Ce taux est maintenu à 57% pour la quatrième phase qui a débuté en 2021 (Parlement Européen, 2018).

Le SEQE couvre plusieurs secteurs. Il s'agit des entreprises de production d'électricité et de chaleur, des entreprises des secteurs industriels à forte intensité énergétique, notamment les installations de combustion dont la puissance thermique nominale est supérieure à 20 mégawatts (à l'exception des incinérateurs de déchets municipaux ou dangereux). Ce critère d'inclusion implique que dans un même secteur, des entreprises peuvent être soumises au SEQE et d'autres non. De plus, c'est la puissance thermique maximale qui est considérée ici et non pas la puissance utilisée. Ainsi, deux entreprises du même secteur ayant des caractéristiques assez semblables peuvent ne pas participer toutes les deux au SEQE.

2.2.2 Les conséquences économiques du SEQE

Les premières études du SEQE (Rennings and Oberndorfer, 2006; Bohringer et al., 2005; Buchner et al., 2006; Quirion and Hourcade, 2004) ont comparé le système d'échange de quotas de l'Union Européenne à d'autres politiques de réduction des émissions. Il s'agit de déterminer quelle politique est la plus appropriée pour atteindre l'objectif de réduction et d'estimer les effets que le système d'échange de quotas d'émissions pourrait avoir sur la compétitivité de l'Union Européenne, en ayant recours à des modèles de simulation. Les modèles d'équilibre général, les modèles d'équilibre partiel et les modèles macro économétriques ont généralement été utilisés pour simuler l'effet du SEQE avant sa mise en œuvre. Ils ont tous produit les mêmes résultats qualitatifs, à savoir que les systèmes d'échange de

quotas sont meilleurs que les systèmes sans échange et que le système d'échange de quotas serait plus efficace s'il y avait davantage de pays participants (Rennings and Oberndorfer, 2006). Par conséquent, il serait plus coûteux pour les pays d'atteindre leur engagement pris à Kyoto sans s'engager dans un système d'échange. Ces études justifient donc le recours au marché de quotas.

Cependant, la mise en œuvre du SEQE a fait émerger des questions relatives à son impact sur la compétitivité des entreprises. D'abord, les allocations accordées au secteur de l'énergie, étant peu soumises à la concurrence hors Union Européenne, risquent de créer des bénéfices exceptionnels pour les entreprises du secteur énergétique puisqu'elles ont la capacité de transmettre les coûts aux consommateurs. Aussi, la charge soumise aux autres entreprises participantes au SEQE risque de les rendre moins compétitives puisqu'elles sont soumises à une plus forte concurrence, que ce soit de la part des entreprises étrangères que régionales qui ne sont pas soumises au système. Ainsi, plusieurs études se sont penchées sur les potentiels effets négatifs du SEQE sur la compétitivité des entreprises. Les simulations semblent montrer que cet effet est globalement assez faible et que le secteur de l'aluminium est le plus affecté (Rennings and Oberndorfer, 2006; Bohringer et al., 2005; Smale et al., 2006; Reinaud, 2005). Toutefois, les principales raisons des effets négatifs potentiels sur la compétitivité de l'Europe constatés par certaines études sont l'hétérogénéité des plans nationaux d'allocation de quotas et la limitation de l'échange de droits d'émission à une poignée de secteurs (Martin et al., 2014). Demailly and Quirion (2006) utilisent pour chaque secteur le ratio d'ouverture³ pour vérifier si les secteurs les plus intensifs en dioxyde de carbone sont les plus exposés à la concurrence internationale. Ils démontrent que parmi les secteurs les plus exposés que la moyenne, seul celui des métaux non ferreux est intensif en CO₂. Tous les autres secteurs plus intensifs en CO₂ sont moins exposés à la concurrence internationale. Par conséquent, les secteurs concernés par le SEQE ne sont pas particulièrement soumis à la concurrence internationale et ne sont donc pas susceptibles de voir leur compétitivité diminuer pour un prix du carbone inférieur à 20 euros par tonne.

Ces études ont pour objectif de conseiller les décideurs politiques sur la mise en œuvre optimale du SEQE, sachant que les décisions doivent prendre en compte

3. Ratio d'ouverture utilisé par l'OCDE $(X/Q + (1 - X/Q) * M/D)$, avec X pour les exportations, Q pour la production, M pour les importations et D pour la demande finale intérieure. Le premier élément mesure la concurrence internationale sur les marchés étrangers et le second élément qui agit sur les marchés intérieurs ainsi que le ratio "Emissions / Chiffre d'affaires"

à la fois les bénéfices et les coûts encourus par les entreprises et, notamment, les éventuelles pertes d'emplois. Le secteur manufacturier est un champ d'étude privilégié en raison de sa position très exposée vis-à-vis de la concurrence étrangère. Selon [Abrell et al. \(2011\)](#), les études empiriques semblent confirmer des prévisions d'impact peu élevées. Une réduction significative, mais faible, de l'emploi global dans les entreprises soumises au SEQE est mise en évidence, réduction qui semble être due aux secteurs des minéraux non ferreux. Les auteurs ne trouvent, pour la période 2004-2008, aucun impact du SEQE-UE sur la valeur ajoutée et les marges bénéficiaires.

[Commins et al. \(2011\)](#) étudient l'impact du SEQE-UE sur 162 771 entreprises européennes entre 1996 et 2007. Ils constatent que cette politique environnementale a eu un impact négatif important sur le rendement du capital, mais que les impacts sur l'emploi, la productivité totale des facteurs et l'investissement ne sont pas significatifs. Toutefois, cette étude présente des limites. Notamment, les auteurs comparent les secteurs et non les entreprises, ce qui implique une erreur de mesure concernant le statut de traitement, puisque, à l'intérieur d'un même secteur, il peut y avoir des entreprises soumises et non soumises au SEQE. En matière d'emploi, un risque de réduction des effectifs faible est également constaté par [Martin et al. \(2014\)](#) en interrogeant 761 dirigeants d'entreprises, participantes ou non au SEQE, et ce, dans six pays européens. La majorité des répondants déclarent que le prix du carbone n'a aucune incidence sur leurs décisions de localisation. Toutefois, le risque de réduction des effectifs est plus élevé pour les entreprises participantes et varie fortement selon le secteur et la manière dont les quotas sont distribués. Des effets très faibles ont été également trouvés en Allemagne pour l'emploi et les entreprises participantes au SEQE présentent une augmentation du chiffre d'affaires et des exportations pendant la première moitié de la phase 2 ([Wagner and Petrick, 2014](#)). Cependant, cette étude ne tient pas compte de l'hétérogénéité des secteurs et l'effet positif semble être mené par le secteur de l'énergie. Ce dernier est le seul secteur où le chiffre d'affaires augmente pendant la phase 2 par rapport au ciment, à l'acier et au fer ([Chan et al., 2013](#)).

De façon générale, les études empiriques examinant la corrélation entre la croissance de la productivité et les politiques environnementales ne parviennent pas à fournir des preuves concluantes quant à l'importance et à la direction de l'effet ([Cohen and Tubb, 2018](#); [Albrizio et al., 2014](#); [Ambec et al., 2013](#)). Il en est de même des études portant spécifiquement sur le SEQE ([Venmans et al., 2020](#); [Verde, 2020](#)). Analysant l'effet du SEQE au niveau européen, [Marin et al. \(2018a\)](#) montrent

que les entreprises ont augmenté leur productivité du travail, mais uniquement lors de la deuxième phase. Utilisant un échantillon d'entreprises allemandes, des conclusions similaires ont été tirées par [Lutz \(2016\)](#), ainsi que [Löschel et al. \(2019\)](#) qui mettent en évidence une amélioration de l'efficacité technique dans les secteurs de la fabrication du papier et des produits du papier pendant la première phase du SEQE. Toutefois, les trois autres secteurs étudiés - industries alimentaires, industrie chimique et fabrication d'autres produits minéraux non métalliques - ont présenté une diminution de leur efficacité technique par rapport aux entreprises non soumises à la politique. Selon [D'Arcangelo et al. \(2022a\)](#) le SEQE a un effet négatif sur la productivité des entreprises italiennes sur la période 2005-2015, ce qui semble attribuable à un changement de combustible dans la production. Un effet négatif similaire du SEQE a également été observé pour les entreprises norvégiennes pendant la phase 2 ([Klemetsen et al., 2020a](#)). En revanche, [Zhang et al. \(2016\)](#) n'obtiennent pas de changement significatif dans la productivité des entreprises suédoises sur la période 2005-2008. En ce qui concerne la France, [Wagner et al. \(2014\)](#) ont constaté une baisse significative de 8% de l'emploi dans le secteur manufacturier pendant la phase 2 du SEQE (la dernière année incluse étant 2010), mais n'ont pas trouvé d'impact significatif sur les exportations. Par ailleurs, la question de l'efficacité n'est pas abordée.

Dans l'ensemble, ces études se sont principalement concentrées sur le secteur manufacturier, soumis à une forte concurrence internationale. Bien que les résultats suggèrent des effets mineurs du SEQE sur l'emploi, la compétitivité et le chiffre d'affaires, ces effets semblent varier en fonction du pays et des secteurs étudiés. La prise en compte de l'hétérogénéité des secteurs et des pays permet d'obtenir des résultats plus précis, offrant ainsi une meilleure compréhension du SEQE et des recommandations plus éclairées pour les décideurs publics.

L'analyse de l'impact du SEQE sur l'efficacité technique des entreprises pourrait être menée, particulièrement dans un pays dit à rigidités du travail élevé comme la France. En effet, [Kumbhakar et al. \(2012\)](#) ont analysé l'efficacité et la productivité totale des facteurs de production en Europe. Il apparaît que cette efficacité est affectée par les réglementations régissant les conditions de travail. Des lois strictes sur l'emploi, le licenciement ou le salaire minimum peuvent constituer des freins à l'innovation et réduisent la capacité des entreprises à réorganiser leur processus de production afin d'utiliser le travail et le capital de la manière la plus efficace. Selon [Tressel and Scarpetta \(2004\)](#), un certain niveau de salaires peut réduire les incitations à l'innovation et à l'adoption de nouvelles technologies, entraînant ainsi

une baisse de la productivité. En France, les réglementations du marché du travail sont considérées comme contraignantes (Van Ark, 2006). Les difficultés d'ajustement de la force de travail peuvent générer une utilisation sous optimale des facteurs de production. Les réglementations du travail semblent donc influencer les capacités de production des entreprises françaises. Cet environnement détermine également la portée de l'innovation des entreprises qui est reconnue comme ayant un effet positif sur l'efficacité (Klette and Kortum, 2004). Notre étude se propose donc d'analyser l'effet du SEQE dans un tel environnement économique.

2.3 Base de données et statistiques descriptives

Nous développons tout d'abord les étapes de la construction de notre base de données, puis nous présentons des statistiques descriptives de notre base.

2.3.1 Construction de la base de données

Les données utilisées dans notre étude sont constituées à partir des données de l'EUTL et de DIANE qui regroupe les données financières des entreprises françaises. Les données concernant le SEQE sont rendues accessibles au public par l'Union Européenne à travers l'EUTL qui est une base regroupant les données concernant les entreprises participant au SEQE. Cette base contient toutes les entreprises participantes au SEQE, précisant leur pays, leurs allocations initiales, leurs émissions vérifiées pour chaque année de mise en conformité. Les données disponibles sont celles des installations, c'est-à-dire la plus petite unité de production analysée pour la décision d'inclusion dans le SEQE. En effet, le SEQE couvre plusieurs installations qui sont gérées par des comptes. Chaque installation est liée à un seul compte, mais chaque compte peut être lié à plusieurs installations. Ces comptes peuvent aussi bien appartenir à des entreprises possédant des comptes opérateur (Operator Holding Account) qu'à des particuliers possédant des comptes personnels (Personal Holding Account).

Afin de faciliter l'exploitation des données de l'EUTL, Jaraité et al. (2014) font correspondre les informations des installations du SEQE à leurs entreprises gestionnaires respectives et les complètent avec les informations des propriétaires de ces gestionnaires jusqu'au dernier niveau. Soit une entreprise X qui possède une installation et qui est elle-même possédée à 50.01% par une entreprise Y et que Y est également possédée à 50.01% par une entreprise Z, cette dernière est le Global Ultimate Owner (GUO) de l'installation. La base de données ainsi constituée

contient les installations, les entreprises gestionnaires des comptes (entreprise X dans notre cas) et les GUO de chaque entreprise. Au total, ce sont 13512 comptes opérateurs obtenus, à raison de 1136 pour la France

À partir de la base de [Jaraité et al. \(2014\)](#), nous récupérons les identifiants des entreprises françaises qui sont les numéros SIREN (Système d'Identification du Répertoire des Entreprises). C'est un code Insee (Institut National de la Statistique et des Études Économiques) unique qui sert à identifier une entreprise, un organisme ou une association ayant des activités en France. Nous pouvons ainsi identifier précisément les entreprises retenues. L'objectif de cette étude étant d'analyser l'efficacité technique des entreprises, nous avons besoin de données financières les concernant. Grâce aux identifiants des entreprises, nous ajoutons ces données grâce à la base DIANE. Elle contient des données financières sur les entreprises, des indicateurs de solidité financière, des données se rapportant à l'action pour les sociétés cotées, des scores et des évaluations, des documents déposés/images, des études de marché, de l'actualité économique ainsi que des cartes et analyses cartographiques.

Nous retenons cinq variables financières pour notre étude. Tout d'abord, le *bénéfice* de l'entreprise qui représente la différence entre les recettes et les dépenses. Il détermine la capacité de l'entreprise à obtenir des parts de marchés dans son domaine d'activité et à maîtriser les coûts de sorte à maximiser son profit. Ensuite, la *production de l'exercice*, qui est un indicateur utilisé pour les entreprises qui ont une activité de production, transformation ou de prestations de services. Elle correspond à la somme des productions stockées, vendues et immobilisées. Nous choisissons également les *salaires et traitements*, c'est-à-dire toutes rémunérations dont peut bénéficier l'employé, incluant les primes, les congés payés, les indemnités maladies, de retraite et également des avantages en nature. Les *capitaux propres* représentent les ressources financières que possède l'entreprise. Ils sont constitués par le capital social (ressources apportées par les entreprises lors de la création) ainsi que les bénéfices non distribués et non mis en réserve. Ils permettent de mesurer la quantité de capital dont dispose une entreprise pour son fonctionnement et rassure les investisseurs quant à la capacité de l'entreprise à faire face à des dépenses exceptionnelles. *L'actif immobilisé net* représente l'ensemble des biens qui seront utilisés pour l'activité de l'entreprise sur le long terme. Il est constitué des immobilisations corporelles (matériel, outillages, installations), des immobilisations incorporelles (fonds de commerce, logiciels) et des immobilisations financières (actions, obligations, prêt). Nous soustrayons ensuite les dépréciations des immo-

bilisations qui représentent la perte de valeur des actifs avec le temps. Pour les entreprises de production, l'actif immobilisé représente une part importante de l'actif de l'entreprise et permet de prendre en compte la taille de l'équipement de l'entreprise dans notre analyse.

Pour constituer notre échantillon final, nous choisissons de nous intéresser aux entreprises appartenant au secteur manufacturier. Grâce aux codes NAF (Nomenclature d'Activités Françaises) nous arrivons à regrouper nos entreprises en secteurs et nous retenons celles appartenant au secteur de l'industrie manufacturière correspondant à la section C et regroupant les secteurs 10 à 33. En plus des entreprises soumises au SEQE, nous récupérons également les entreprises non soumises au SEQE appartenant à la section C afin de constituer un groupe de comparaison. Les données disponibles sur DIANE couvrent la période 2005-2019. Les données de 2019 étant en majorité manquantes, nous gardons la période 2005-2018. Nous obtenons ainsi une base de données sur les entreprises françaises du secteur de l'industrie manufacturière appartenant ou non au SEQE.

Nous avons au total 10628 entreprises, dont 305 soumises au SEQE et 10323 qui n'y participent pas. La répartition du nombre d'entreprises par secteur au début de chacune des phases (2005, 2008, 2013) est donnée dans le tableau 2.1. Nous notons que le secteur des industries alimentaires est considéré dans son ensemble. Il prend en compte les activités telles que la production d'engrais, de produits de l'alimentation animale ou phytosanitaires. Notre échantillon est finalement constitué de 19 secteurs classés selon la nomenclature NAF.

2.3.2 Statistiques descriptives

Les statistiques descriptives sont présentées dans le tableau 2.2. Il indique la moyenne du bénéfice, de la production de l'exercice, des salaires et traitements, du total de l'actif immobilisé et des capitaux propres pour les 305 entreprises appartenant au SEQE (entreprises traitées) et les 10323 non membres du SEQE (entreprises non traitées) pour les années de début des trois premières phases, 2005, 2008 et 2013.

Pour chacune des variables financières retenues, nous remarquons des valeurs moyennes plus élevées pour les entreprises traitées que pour les entreprises non traitées. Le test de Student confirme que la différence de moyenne entre les deux groupes est majoritairement significative. Cela peut s'expliquer par le critère d'inclusion au SEQE. Il est basé sur la capacité thermique des entreprises. Dans la

TABLEAU 2.1 – Evolution du nombre d'entreprises traitées et non traitées par secteur

NAF	Secteur	2005		2008		2013	
		Controle	Traité	Controle	Traité	Controle	Traité
10	Industries alimentaires	2065	35	2188	42	2108	42
11	Fabrication de boissons	203	1	217	2	223	2
12	Fabrication de produits à base de tabac	2	2	2	2	2	1
13	Fabrication de textiles	361	2	363	2	321	2
16	Fabrication d'articles en bois et en liège	460	5	464	6	403	6
17	Industrie du papier et du carton	395	41	415	40	388	42
19	Cokéfaction et raffinage	20	3	22	4	21	3
20	Industrie chimique	611	39	640	44	617	43
21	Industrie pharmaceutique	164	4	173	4	167	4
22	Produits en caoutchouc et en plastique	1055	5	1110	5	1001	6
23	Autres produits minéraux non métalliques	514	42	520	45	483	39
24	Métallurgie	202	15	217	16	212	17
25	Fabrication de produits métalliques	11	0	14	0	13	0
26	Produits informatiques, électroniques et optiques	225	2	228	2	217	1
27	Fabrication d'équipements électriques	67	1	70	2	66	2
28	Fabrication de machines et équipements n.c.a.	552	4	569	4	554	4
29	Industrie automobile	315	17	335	17	326	18
30	Fabrication d'autres matériels de transport	131	0	144	1	137	1
31	Fabrication de meubles	385	3	406	3	308	3

n.c.a : Non classé ailleurs

Source : Tableau construit par l'auteur à partir des données de l'EUTL

TABLEAU 2.2 – Caractéristiques des entreprises traitées et non traitées

Variable (milliers d'euros)	Année	<i>Non traité</i>			<i>Traité</i>			t.test
		Moyenne	σ	Nombre	Moyenne	σ	Nombre	
Bénéfice		1180	21617	7738	5842	25451	221	0.01
Production de l'exercice		37852	494720	7738	260671	656586	221	0.00
Salaires et traitements	2005	4339	30166	7738	16313	33945	221	0.00
Total de l'actif immobilisé net		13369	176879	7738	66637	129024	221	0.00
Capitaux Propres		11405	85318	7738	58585	148242	221	0.00
Bénéfice		931	28182	8097	1954	23497	241	0.51
Production de l'exercice		43231	478600	8097	239897	497100	241	0.00
Salaires et traitements	2008	4630	28927	8097	18017	43580	241	0.00
Total de l'actif immobilisé net		15580	202851	8097	116527	669563	241	0.02
Capitaux Propres		12410	77215	8097	68093	180973	241	0.00
Bénéfice		559	22176	7567	7142	92081	236	0.27
Production de l'exercice		42429	429278	7567	236199	465099	236	0.00
Salaires et traitements	2013	5016	28626	7567	18481	38428	236	0.00
Total de l'actif immobilisé net		16361	185612	7567	117298	604924	236	0.01
Capitaux Propres		13730	79831	7567	68138	171122	236	0.00

Source : Tableau construit par l'auteur à partir des données de DIANE

suite de cette étude, nous considérerons seulement les secteurs qui ont un nombre d'entreprises traitées dans notre échantillon supérieur à 10, ce qui correspond à 6 secteurs comme nous le voyons dans le tableau 2.1. Cela suggère que ce soient les secteurs les plus intensifs en puissance thermique. Nous retenons donc les secteurs de la fabrication du papier et des produits du papier (NAF 17), de l'industrie alimentaire (NAF 10), de l'industrie chimique (NAF 20), de la fabrication d'autres produits minéraux non métalliques (NAF 23), de l'automobile (NAF 29) et de la métallurgie (NAF 24).

Parmi ces 6 secteurs retenus, celui dont la production est la plus élevée est le secteur alimentaire (voir tableaux 2.8 - 2.13). Nous retrouvons des entreprises comme *Danone* (4ème plus grande entreprise laitière au monde), *Lesieur* (producteur d'huiles végétales) ou *Kermene* qui est une filiale des centres distributeurs E.Leclerc. Ensuite, nous avons le secteur de la chimie qui est le deuxième plus gros producteur. Il comprend l'entreprise *Lubrizol* (synthétisation et stockage de produits chimiques destinés à être utilisés comme additifs pour lubrifiants) ou *Air liquide France* qui est spécialiste des gaz destinés à l'industrie, la santé, l'environnement et la recherche. En troisième position nous avons le secteur du papier qui contient entre autres l'entreprise française *CONDAT* qui a une capacité de production de 431000 tonnes de papier par an ou la filiale française du leader européen du papier *Smurfit Kappa*. Notre quatrième secteur étudié est celui des minéraux. Nous pouvons retrouver la multinationale *Rockwool* (spécialisée dans la fabrication de laine minérale servant à l'isolation des bâtiments) ainsi que *Pochet du Courval*, une entreprise française spécialisée dans la fabrication de flacons de parfum pour l'industrie du luxe. Le secteur de l'automobile est quant à lui dominé par les entreprises *Peugeot* et *Renault*. Notre dernier secteur d'intérêt qui est celui de la métallurgie, contient des entreprises comme *Arcelormittal* (plus grand producteur d'acier au monde) et *Constellium* (spécialisé dans la fabrication de produits en aluminium). Nous présenterons dans la section suivante la méthodologie utilisée pour déterminer les efficacités des différents secteurs retenus ainsi que l'effet du SEQE sur cette efficacité.

2.4 Méthodologie

L'effet du SEQE sur l'efficacité technique des entreprises est analysé en deux étapes. Tout d'abord, nous estimons l'efficacité technique des entreprises en utilisant la méthode de la frontière d'efficacité. Nous calculons cette frontière en considérant le

niveau de production maximum atteignable avec un certain niveau d'intrants pour un groupe d'entreprises du même secteur. Le score d'efficacité est ainsi obtenu en calculant la distance entre la production d'une entreprise et la frontière. Ensuite, nous comparons les entreprises qui participent au SEQE à celles qui ne sont pas concernées conditionnellement aux scores d'efficacité précédemment obtenus. Compte tenu des différences observées entre les deux groupes, une comparaison directe serait biaisée. Notre approche repose sur la méthode des doubles différences, qui implique initialement la création d'un groupe de contrôle composé d'entreprises non soumises au traitement, mais qui sont les plus similaires au groupe traité avant la mise en œuvre du SEQE. Cette démarche vise à rendre les deux groupes comparables. Par conséquent, la différence entre les deux groupes après la mise en place du SEQE permettra de refléter plus précisément l'effet de la politique environnementale. N'ayant pas de données sur la période d'avant le traitement, ce qui nous aurait permis d'avoir une information supplémentaire et de mesurer un effet plus précis, nous considérons l'année 2005 comme période de prétraitement. En effet, la première phase étant considérée comme une phase de test (Ellerman et al., 2016; Joltreau and Sommerfeld, 2019), nous supposons que les entreprises n'avaient pas encore mis en place les transformations nécessaires pour entraîner un changement significatif sur leur fonctionnement.

La principale difficulté rencontrée par les études précédentes était de séparer clairement les effets du SEQE des effets d'autres politiques (Martin et al., 2014). Le degré d'agrégation constitue un élément essentiel à prendre en compte. En effet, les critères d'inclusion des entreprises dans le SEQE prennent en compte le secteur de l'entreprise, mais également sa capacité de production. Ainsi, à l'intérieur d'un même secteur, nous avons des entreprises soumises ou non au système. Commins et al. (2011) comparent les secteurs qui participent au SEQE à ceux qui n'y sont pas soumis. Toutefois, les auteurs soulignent que cette façon de procéder constitue une erreur de mesure du statut de traitement et que les effets obtenus pourraient être biaisés par des chocs sectoriels. Il est toujours difficile de résoudre ce problème d'identification, car il existe plusieurs autres facteurs qui influencent le comportement des entreprises et affectent l'estimation de l'impact. La meilleure méthode consisterait à mener une expérience randomisée pour avoir deux groupes directement comparables. Cependant, cela serait inefficace d'un point de vue environnemental puisque les entreprises participantes seraient choisies de manière aléatoire. C'est pourquoi nous optons pour une méthode d'analyse d'impact qui consiste à comparer les entreprises qui participent à un groupe d'entreprises

similaires qui ne participent pas en supposant qu'elles auraient évolué de la même manière conditionnellement à certaines variables de contrôle. Ainsi, la méthode des doubles différences est souvent utilisée pour estimer l'effet d'une politique lorsque les données sont disponibles avant et après la mise en place d'une politique.

Notre analyse se fera en deux étapes. Nous évaluerons d'abord le score d'efficacité (Battese and Coelli, 1992) des entreprises de notre échantillon en comparant chaque entreprise à celles de son secteur, puis nous les séparerons en deux groupes (traités et non traités). Cela nous permettra de mesurer la différence entre leurs différents scores d'efficacité grâce à la méthode des doubles différences doublement robustes (Sant'Anna and Zhao, 2018).

2.4.1 Frontière d'efficacité

La première étape de notre étude consistera à estimer les scores d'efficacité des entreprises françaises afin d'analyser leur évolution sur la période 2005-2018. Pour estimer cette efficacité, nous nous appuyons sur l'analyse d'une fonction de frontière de production stochastique. Le modèle de frontière d'efficacité a été introduit par Farrell (1957) afin d'optimiser les mesures d'efficacité qui étaient jusqu'à ce jour obtenues en utilisant la productivité moyenne. Cependant, l'estimateur ainsi obtenu est presque toujours biaisé et sans connaissance de la distribution des erreurs, il est impossible de supprimer ce biais (Farrell, 1957). Certaines estimations situées au-delà de la frontière de production étaient alors attribuées à des erreurs de mesure. Ainsi Aigner et al. (1977) proposent d'inclure deux termes d'erreur dont l'un représente l'efficacité technique et l'autre le terme d'erreur habituel.

Ce modèle est amélioré avec une fonction de production adaptée aux données de panel dans lequel l'efficacité des entreprises varie au cours du temps (Battese and Coelli, 1992) :

$$Y_{it} = f(x_{it}; \beta) \exp(V_{it} - U_{it}) \tag{2.1}$$

Y_{it} représente la production de l'entreprise i à l'année t

$f(x_{it}; \beta)$ est une fonction d'un vecteur x_{it} qui correspond aux intrants utilisés pour la production de l'entreprise i à l'année t et β un vecteur de paramètres inconnus

V_{it} représente les erreurs aléatoires qui sont supposées être indépendamment et

identiquement distribuées $N \sim (0, \sigma_V^2)$)

U_{it} représente les rendements techniques et sont censés être indépendamment et identiquement distribués et appartenir à la partie non négative de la distribution normale ($N(\mu, \sigma^2)$).

Ensuite, les scores d'efficacités sont calculés de la façon suivante en utilisant les résultats de l'équation 2.1

$$TE_{it} = e^{-U_{it}} \quad (2.2)$$

Afin d'estimer la fonction de production, nous devons faire une hypothèse concernant la relation technologique entre les facteurs de production et la production. La fonction Cobb Douglas (Cobb and Douglas, 1928) est souvent utilisée, mais elle repose sur l'hypothèse d'élasticité de substitution des facteurs de production constante et égale à 1. Cette hypothèse étant restrictive (Heathfield and Wibe, 1987), Arrow et al. (1961) proposent la fonction CES qui permet à l'élasticité de substitution d'être différente de 1, mais cette élasticité reste constante. Une forme plus flexible a été proposée par Christensen et al. (1971) : la fonction logarithmique transcendantale ou translog. Elle permet aux élasticités de substitution de varier en fonction des facteurs de production considérés. Dans notre étude, nous utilisons donc la spécification translog.

Le modèle que nous estimons est alors défini comme suit :

$$\begin{aligned} \log(Production_{it}) = & \beta_0 + \beta_1 \log(Capital_{it}) + \beta_2 \log(Travail_{it}) + \beta_3 \log(Travail_{it})^2 \\ & + \beta_4 \log(Capital_{it})^2 + \beta_5 \log(Travail_{it}) \times \log(Capital_{it}) \\ & + V_{it} - U_{it} \end{aligned} \quad (2.3)$$

La fonction de production incorpore donc la quantité de travail utilisée par l'entreprise. Toutefois, nous nous heurtons à un problème de manque de données. Nous suivons donc Aggrey et al. (2010); Lundvall (1999); Ngui-Muchai and Muniu (2012) et utilisons les salaires et traitements comme proxy du travail. Toutes les variables sont exprimées en milliers d'euros.

Cette équation sera estimée pour chaque secteur afin de comparer chaque entreprise

avec celles de son secteur. La prise en compte des effets temporels nous permet d'avoir les scores d'efficacité pour chaque entreprise et chaque année. Les scores d'efficacité obtenus sont compris entre 0 et 1. 0 représentant les entreprises les moins efficaces et 1 les plus efficaces. Ces scores d'efficacité seront utilisés dans la deuxième partie de notre analyse comme variable dépendante. Cela nous permettra d'évaluer si la différence entre nos deux groupes d'entreprises est significative, c'est-à-dire si l'on observe un effet du SEQE sur l'efficacité technique des entreprises.

2.4.2 Doubles différences

Afin d'obtenir l'effet du SEQE, nous utilisons la méthode des doubles différences doublement robustes (Sant'Anna and Zhao, 2018) qui permet d'estimer l'effet d'un traitement en comparant un groupe qui a reçu le traitement et un autre non traité. Ce groupe de contrôle est constitué en gardant les entreprises similaires au groupe traité conditionnellement à un score de propension. Cet estimateur est doublement robuste parce qu'il permet de combiner la méthode du score de propension et la modélisation de notre variable dépendante. Il reste donc efficace si au moins l'un des modèles est correctement spécifié, ce qui contribue à réduire les erreurs de mesure de l'effet du traitement dues à une spécification inadéquate d'un des modèles. Considérons un traitement administré à deux groupes d'individus sur deux périodes différentes et cherchons à mesurer l'effet de ce traitement sur une variable Y .

Nous définissons Y_{it} qui est le score d'efficacité de l'individu i au moment t que nous avons calculé à la première étape. Le score d'efficacité de chaque entreprise est disponible pour la période de prétraitement, c'est-à-dire avant la mise en place du SEQE en $t = 0$ et la période post-traitement en $t = 1$. Désignons $D_i = 1$ si l'individu est traité et $D_i = 0$ s'il n'est pas traité. Ainsi, les scores d'efficacité sont notés $Y_i(1)$ et $Y_i(0)$ pour les individus traités et non traités respectivement. L'objectif est ensuite d'estimer l'effet moyen du traitement sur les entreprises traitées (ATT), qui est défini comme suit :

$$ATT = E[Y_{i1}(1) - Y_{i1}(0)|D = 1], \quad (2.4)$$

$Y_i(0)$, qui représente le score d'efficacité des entreprises participantes à $t = 1$ si elles n'avaient pas participé, n'est pas observé et doit donc être estimé. Nous sommes

confrontés dans ce cas à un problème de variable inobservée. En plus, nous avons un biais de sélection. Dans une expérience randomisée, les entreprises participantes au SEQE auraient été choisies de manière aléatoire afin de permettre aux deux groupes d'être directement comparables. Cependant, les entreprises soumises au SEQE ont été choisies selon un critère bien défini qui crée de l'hétérogénéité entre les deux groupes, entraînant ce biais de sélection.

Ces deux problématiques peuvent être contrôlées grâce aux méthodes d'estimation d'effet causal de traitement. Une première méthode consiste à estimer notre variable d'efficacité grâce à une régression en la contrôlant par notre variable de traitement ainsi que des variables ayant un effet sur l'efficacité des entreprises. Cela nous permettrait alors d'isoler l'effet causal du SEQE si le modèle est bien spécifié. Une seconde méthode consisterait à utiliser le score de propension (Abadie, 2005), qui permet de pondérer les scores d'efficacité en utilisant la probabilité d'une entreprise à être dans le groupe de traitement conditionnellement à nos variables de contrôle. Ainsi, la comparaison des moyennes pondérées nous permettrait d'avoir l'effet causal du SEQE si le modèle est bien spécifié.

Cependant, ces deux méthodes exigent une bonne modélisation de notre variable d'efficacité ou de la probabilité de participation au traitement. Un choix non approprié des variables de contrôle dans chacun des deux cas expliqués plus haut conduirait à un biais de spécification. La méthode des doubles différences doublement robustes permet de combiner ces deux approches afin d'obtenir l'effet causal du SEQE même si l'un des modèles est mal spécifié (Sant'Anna and Zhao, 2018). Nous réduisons ainsi le risque de biais de spécification lié à l'utilisation de l'une de ces méthodes. Ainsi, nous pouvons profiter des avantages des deux estimateurs tout en évitant leurs faiblesses.

Pour le cas de la double différence, puisque nous observons une période avant et après la mise en œuvre du SEQE, l'hypothèse de tendance parallèle inconditionnelle doit être respectée. Elle implique que l'efficacité des deux groupes aurait suivi la même tendance en l'absence de traitement. Les entreprises de notre échantillon étant toutes françaises, elles sont soumises aux mêmes réglementations et au même environnement économique. Faisant partie du même groupe du secteur manufacturier, un choc sectoriel devrait toutes les affecter de la même manière. Nous ajoutons également des variables de contrôle mesurées pendant la période de pré-traitement (2005), parmi lesquelles nous avons le score d'efficacité en 2005, afin de comparer les entreprises qui se ressemblaient le plus avant le SEQE.

L'estimateur doublement robuste pour les données de panel est défini comme suit :

$$\tau^{dr,p} = E \left[\left(w_1^p(D) - w_0^p(D, X; \pi) \right) \left(\Delta Y - \mu_{0,\Delta}^p(X) \right) \right] \quad (2.5)$$

où $\tau^{dr,p}$ représente l'effet du traitement, $\pi(x)$ est un modèle permettant d'estimer le score de propension. Dans notre cas, nous utiliserons la loi logistique. où $w_1^p(D) = \frac{D}{E}$ et $w_0^p(D, X; \pi) = \frac{\pi(x)(1-D)}{1-\pi(x)} / E \left[\frac{\pi(x)(1-D)}{1-\pi(x)} \right]$ représentent respectivement les poids accordés au groupe d'entreprises traitées et non traitées. $\Delta Y = Y_1 - Y_0$ représente les différences d'efficacité entre les deux périodes pour les entreprises traitées. $\mu_{0,\Delta}^p(X) = \mu_{0,1}^p(X) - \mu_{0,0}^p(X)$ indique la différence d'efficacité entre les deux périodes pour les entreprises non traitées conditionnellement aux variables de contrôle. On suppose que la relation entre les variables est linéaire en paramètres et que le score de propension suit une loi logistique. Les paramètres inconnus sont estimés en utilisant les moindres carrés ordinaires.

Pour construire nos poids, nous devons utiliser des variables qui sont liées au traitement sans permettre de l'expliquer totalement. Nous retenons des variables ayant un effet sur l'efficacité, en gardant leurs valeurs pendant la période de prétraitement, c'est-à-dire 2005. Ainsi, nous retenons la valeur du score d'efficacité en période de prétraitement. L'estimation de l'effet moyen du traitement peut être entravée par des facteurs liés à la taille de l'entreprise, car la participation au SEQE dépend de la capacité thermique de l'entreprise. Cependant, nous n'observons pas la capacité thermique, c'est pourquoi nous suivons [Löschel et al. \(2019\)](#) en incluant la valeur du stock de capital physique mesuré par le total des immobilisations nettes afin de prendre en compte les effets de taille. Nous considérons aussi le total des bénéfices des entreprises. En effet, les entreprises soumises au SEQE pourraient être différenciées par le bénéfice réalisé puisque le SEQE pourrait augmenter leurs charges. La mise en conformité environnementale implique des coûts de réductions des émissions (changement de technologies, utilisation d'intrants moins polluants) ou le paiement de pénalités en cas de non-respect du quota spécifié. Les variables ainsi choisies permettront de comparer les entreprises traitées à d'autres entreprises du même secteur ayant la même taille, la même efficacité et les mêmes bénéfices annuels avant la participation au SEQE.

2.5 Résultats

Nous présenterons dans cette section les résultats du modèle de frontière stochastique, nous décrirons l'évolution des différences d'efficacité pour les différents groupes et nous montrerons enfin les effets de traitement estimés.

2.5.1 Frontière de production et efficacité

TABLEAU 2.3 – Estimation de la frontière de production

	<i>Variable dépendante : log(Production)</i>					
	Secteurs					
	Minéraux	Papier	Chimie	Alimentaire	Automobile	Métallurgie
log(Salaires et traitements)	-0.790*** (0.099)	-0.251** (0.112)	-0.771*** (0.100)	-1.548*** (0.083)	-1.980*** (0.113)	-1.718*** (0.252)
log(Salaires et traitements) ²	0.058*** (0.004)	0.044*** (0.004)	0.060*** (0.003)	0.093*** (0.003)	0.071*** (0.004)	0.079*** (0.008)
log(Total capitaux.propres)	0.088** (0.044)	-0.048 (0.040)	-0.015 (0.040)	0.009 (0.032)	-0.574*** (0.038)	-0.125 (0.086)
log(Total capitaux.propres) ²	0.008*** (0.001)	0.009*** (0.001)	0.018*** (0.001)	0.014*** (0.001)	0.020*** (0.001)	0.015*** (0.002)
log(Salaires) × log(capitaux)	-0.018*** (0.002)	-0.012*** (0.002)	-0.028*** (0.002)	-0.025*** (0.001)	0.001 (0.001)	-0.017*** (0.004)
Constante	19.904*** (0.807)	15.048*** (0.923)	20.458*** (0.854)	24.975*** (0.650)	38.756*** (0.726)	30.804*** (2.064)
N	701	592	828	3026	439	311
Nombre d'années	14	14	14	14	14	14
Moyenne de l'efficacité	0.459	0.526	0.407	0.265	0.38	0.471
Effets fixes années	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui

Note :

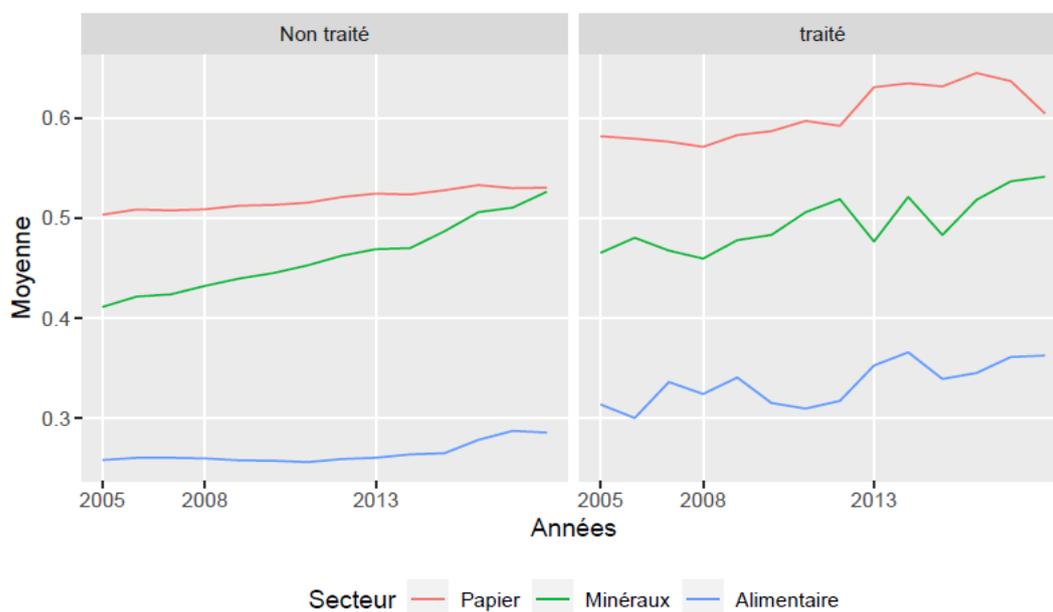
*p<0.1 ; **p<0.05 ; ***p<0.01

TABLEAU 2.4 – Elasticités partielles de production

Secteur	Salaires	Capitaux
Alimentaire	0.913	1.532
Métallurgie	0.589	1.275
Minéraux	0.723	1.024
Automobile	0.424	0.904
Chimie	0.615	0.846
Papier	0.931	0.689

Nous avons estimé les scores d'efficacité pour chaque secteur pour toute la période d'étude, car ils ont des produits, des performances et une rentabilité différents. Nous présentons les résultats des six secteurs comptant plus de 10 entreprises en 2005. Nos résultats sont indiqués dans le tableau 2.3. Pour chaque facteur de production, les élasticités sont calculées et présentées dans le tableau 2.4.

Nous remarquons des élasticités inférieures à 1 pour le travail qui se situent entre 0.42 et 0.93, laissant percevoir l'excès de charges supporté par les entreprises. Cela confirme l'idée selon laquelle la réglementation du marché du travail pourrait ralentir l'adaptation des entreprises à un environnement changeant [Tressel and Scarpetta \(2004\)](#). Quant au capital, trois secteurs (Alimentaire, Métallurgie et Minéraux) présentent des élasticités supérieures à 1 qui sont de 1.53, 1.27 et 1.02 respectivement. Les trois derniers secteurs présentent des élasticités inférieures à 1 (Automobile, Chimie, Papier) qui s'élèvent respectivement à 0.90, 0.84 et 0.68. Aussi, lorsque nous comparons les élasticités des facteurs de production, nous remarquons que le secteur du papier est le seul pour lequel les élasticités du capital sont inférieures à celles du travail. Ces résultats mettent en exergue l'importance du capital dans le processus de production des entreprises françaises. Les moyennes d'efficacité obtenues après estimation vont de 0,265 pour l'alimentation à 0,526 pour le papier. Cependant, ces scores ne peuvent pas être comparés entre les secteurs. Nous comparons donc les entreprises traitées et non traitées par secteur en représentant l'évolution de leurs différences dans le graphique 1. Nous remarquons que ces différences sont toutes positives, c'est-à-dire que les entreprises participantes sont en moyenne plus efficaces que celles non soumises au SEQE. Cela pourrait



GRAPHIQUE 2.1 – Différence d'efficacité par statut de traitement

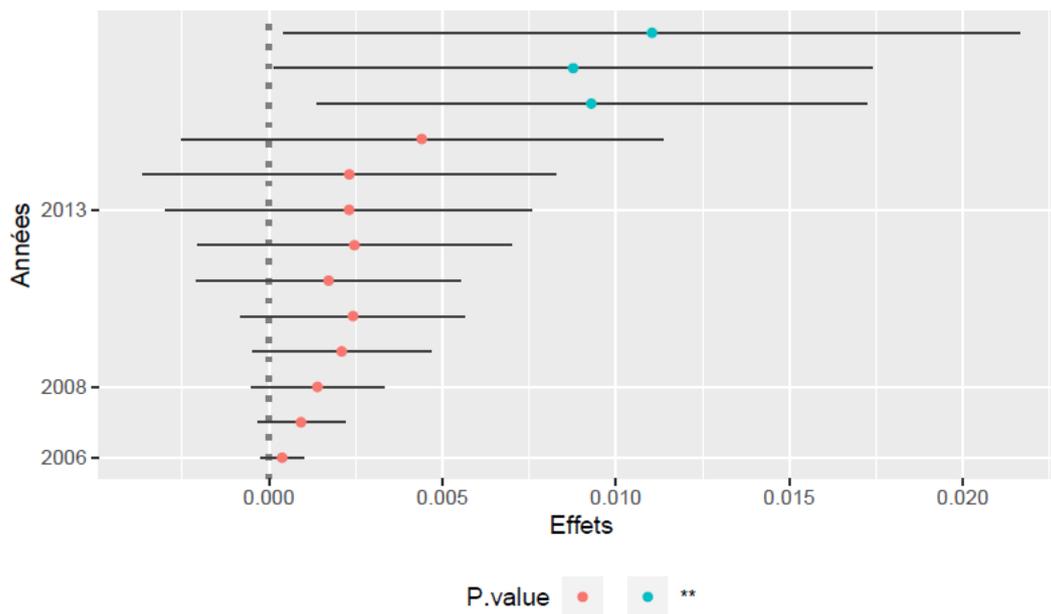
s'expliquer par le critère d'inclusion qui est une capacité thermique supérieure à 20MW. La différence entre les entreprises traitées et non traitées augmente progressivement entre 2005 et 2013 pour le secteur alimentaire. Pour les autres secteurs, la différence a plutôt tendance à se réduire. Cependant, cette comparaison à la moyenne en considérant toutes les entreprises de notre échantillon n'est pas suffisante pour savoir si la variation des différences entre ces deux groupes est attribuable au SEQE. Nous utiliserons donc une méthode d'analyse en doubles différences afin d'avoir des résultats plus robustes.

2.5.2 Doubles différences

Nous présentons d'abord l'effet du SEQE sur l'efficacité technique de toutes les entreprises de notre échantillon. Ensuite, nous mènerons une analyse sectorielle.

Analyse globale

Les résultats de notre estimation de doubles différences pour toutes les entreprises sont présentés graphiquement dans le graphique 2.2 où chaque point représente la valeur de notre estimation de l'effet et les barres horizontales représentent leurs intervalles de confiance respectifs. Les valeurs numériques sont données dans le



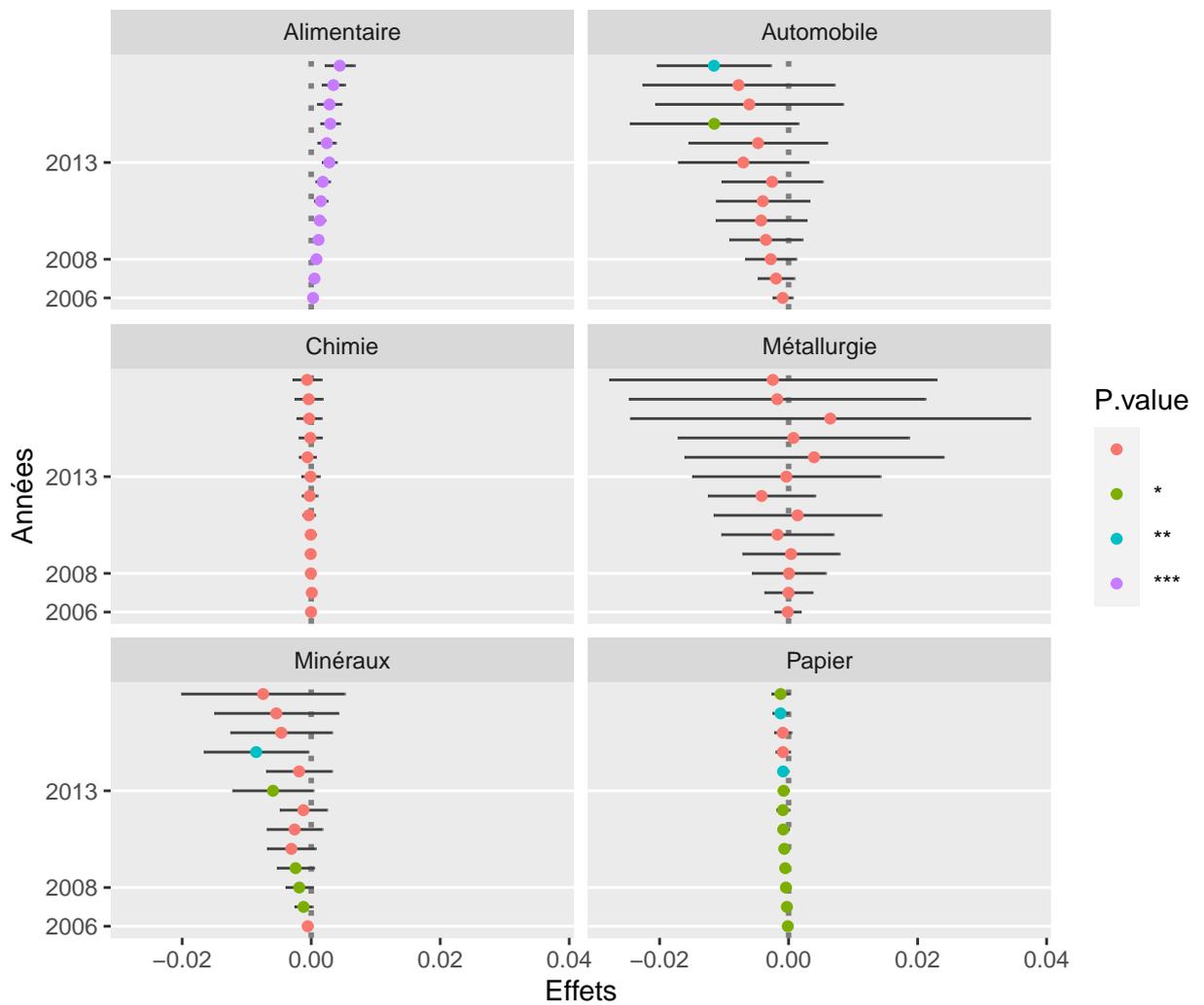
GRAPHIQUE 2.2 – Effet global du traitement
Notes : * $p < 0.1$; ** $p < 0.05$; *** $p < 0.01$

tableau 2.6. Nous avons comparé la différence d'efficacité entre les entreprises traitées et non traitées de tous les secteurs confondus. Nous constatons un effet non significatif jusqu'en 2015, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de différence entre les entreprises traitées et non traitées occasionnée par le SEQE. À partir de 2016, nous remarquons que le SEQE augmente l'efficacité technique des entreprises. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus en Allemagne. En effet, [Lutz \(2016\)](#); [Löschel et al. \(2019\)](#) constatent un effet positif du SEQE sur l'efficacité des entreprises, mais seulement pendant la phase 1. Il est admis que la première phase du SEQE était une phase de test pour les entreprises et les régulateurs, et que durant cette période, les PNAQ ont été assez généreux. Même si ces derniers ont été réduits, la phase 2 a connu la crise financière et le prix du quota est resté faible. Depuis la phase 3, les PNAQ sont réduits chaque année et le prix du carbone marque une tendance à la hausse. On pourrait s'attendre alors à une diminution de l'efficacité des entreprises traitées, mais les entreprises françaises semblent être en mesure de s'adapter à ces nouvelles contraintes. Comme test de robustesse, nous considérons également la phase 1 (2005-2007) comme période de prétraitement que nous comparons aux phases 2 et 3. Les résultats du tableau 2.14 confirment l'effet non significatif du SEQE sur l'efficacité des entreprises françaises.

Analyse par secteur

Nous évaluons ensuite l'effet du SEQE sur l'efficacité technique pour chaque secteur retenu. Le graphique 2.3 montre l'effet du traitement sur les entreprises de notre échantillon par secteurs. Le secteur alimentaire est le seul pour lequel l'effet du SEQE est positif et significatif, ce qui confirme la tendance observée dans le graphique 2.1. Les entreprises de ce secteur soumises au SEQE ont alors vu leur efficacité augmenter significativement depuis 2005 par rapport à celles qui n'étaient pas soumises et nous voyons que cette différence s'accroît également avec le temps. Cela suggère que les entreprises du secteur alimentaire aient réussi à s'adapter au SEQE au point d'avoir une évolution de leur efficacité significativement différente. L'effet contraire est remarqué dans le secteur du papier où notre analyse montre un effet négatif sur SEQE sur les entreprises de ce secteur. Cela suggère que les entreprises du secteur du papier arrivent moins à s'adapter à ce système de quotas.

Les différences entre les deux groupes ne sont pas significatives pour la majorité des secteurs (Métallurgie, Chimie, Minéraux et Automobile). D'une manière globale, les effets du SEQE sur l'efficacité technique des entreprises sont donc hétérogènes et certains secteurs arrivent à s'adapter plus rapidement que d'autres. Il semblerait donc que, jusqu'ici, les pouvoirs publics n'aient pas cherché à corriger ces évolutions divergentes. La contrainte environnementale pourrait effectivement se resserrer sur les secteurs dont l'efficacité technique augmente et se desserrer un peu sur les autres. Partant du principe que la dotation finale des quotas est indépendante de la distribution initiale (Montgomery, 1972), le régulateur ne peut utiliser la dotation initiale pour mener cet objectif différencié. Ces résultats pourraient donc être utilisés par les pouvoirs publics pour mener des études par secteur non focalisées sur l'environnement afin de mettre en lumière les facteurs éventuellement bloquants de l'amélioration de l'efficacité. Il s'agirait d'en tirer des conclusions pour mener, aux côtés d'un marché de quotas intersectoriel, des politiques plus sectorielles. Ces politiques seraient alors complémentaires et permettraient d'améliorer l'efficacité de chaque secteur. Ces travaux permettent de rajouter un critère d'évaluation au marché des quotas d'émissions, celui de l'impact de la politique environnementale sur l'efficacité technique des entreprises, en plus du critère très répandu dans la littérature de réduction des émissions à moindre coût.



GRAPHIQUE 2.3 – Impact du SEQE sur l'efficacité des entreprises par secteur
 Notes : *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

2.6 Conclusion

Le SEQE est le principal instrument de l'Union Européenne pour lutter contre le changement climatique. Si plusieurs études ont étudié l'impact du SEQE sur les entreprises ou les secteurs, peu se sont intéressées aux secteurs français. Notre étude complète donc la littérature concernant l'évaluation des effets du SEQE sur l'efficacité technique des entreprises françaises sur la période 2005-2018. Pour ce faire, nous construisons une base de données originale et utilisons une mesure d'efficacité qui n'avait pas encore été appliquée aux entreprises françaises. Nous proposons également une méthode d'évaluation d'impact non utilisée jusqu'alors.

L'analyse de frontière stochastique nous a permis de calculer le score d'efficacité des entreprises pour chaque secteur, que nous avons utilisé pour évaluer l'effet du SEQE en utilisant la méthode des doubles différences. Cette méthodologie nous permet d'avoir un résultat plus robuste qu'en utilisant le modèle de régression ou le score de propension. Nous avons choisi six secteurs qui comptent suffisamment de sociétés participantes en 2005 pour nous permettre d'estimer des effets qui pourraient être généralisés à toutes les entreprises de ces secteurs.

Nous montrons que le SEQE accroît l'efficacité technique des entreprises à partir de 2016, mais que cet effet est non significatif pour les années antérieures. Cet effet varie également en fonction des secteurs, ce qui suggère que les entreprises aient des modes de fonctionnement différents en fonction des secteurs d'appartenance. Les entreprises du secteur alimentaire ont été positivement affectées, ce qui suggère qu'elles aient pu s'adapter à cette politique environnementale et même devenir plus efficaces, contrairement à celles du secteur du papier. Les entreprises des quatre autres secteurs étudiés ne présentent pas de différence entre les deux groupes. Nous avons mis en lumière l'effet hétérogène du SEQE sur les entreprises françaises et, en couvrant plus de la moitié de la phase 3, nous avons détecté une tendance pour l'effet de traitement du SEQE en France. Cependant, notre étude pourrait être améliorée. Des effets indirects comme les effets des prix de l'énergie ou l'effet des autres politiques climatiques n'ont pas été pris en compte.

Ce chapitre s'inscrit dans le prolongement de l'hypothèse de Porter. Globalement, nous pouvons déduire de ces résultats que les entreprises disposent d'une flexibilité qui leur a permis de s'organiser afin de maintenir leur efficacité face à la politique environnementale. Par conséquent, dans sa forme actuelle, le SEQE permet d'atteindre des objectifs environnementaux sans pénaliser les entreprises. Les économies sont certainement sur la bonne voie pour réduire les émissions de gaz à

effet de serre. Cependant, les décideurs devraient mener des études par secteurs pour détecter d'éventuels facteurs bloquant l'amélioration de l'efficiencia technique. Il s'agirait ensuite de mettre en place des politiques sectorielles au côté du SEQE qui est intersectoriel. Ces politiques complémentaires permettraient d'obtenir des réductions des émissions tout en améliorant l'efficiencia technique des entreprises.

Annexes

TABLEAU 2.5 – Sections NAF

Code	Libellé
A	Agriculture, sylviculture et pêche
B	Industries extractives
C	Industrie manufacturière
D	Production et distribution d'électricité, de gaz, de vapeur et d'air conditionné
E	Production et distribution d'eau ; assainissement, gestion des déchets et dépollution
F	Construction
G	Commerce ; réparation d'automobiles et de motocycles
H	Transports et entreposage
I	Hébergement et restauration
J	Information et communication
K	Activités financières et d'assurance
L	Activités immobilières
M	Activités spécialisées, scientifiques et techniques
N	Activités de services administratifs et de soutien
O	Administration publique
P	Enseignement
Q	Santé humaine et action sociale
R	Arts, spectacles et activités récréatives
S	Autres activités de services
T	Activités des ménages en tant qu'employeurs
U	Activités extra-territoriales

TABLEAU 2.6 – Effet du SEQE sur l'efficacité par année

<i>Variable dépendante : Efficacité</i>				
Année				
Année	2006	2008	2013	2018
ATT	4e-05 (8e-05)	7e-04 (6e-03)	0.002 (0.003)	0.011** (0.009)
N	8124	8345	7932	8064

TABEAU 2.7 – Effet du SEQE sur l'efficacité par secteurs

Année	Alimentaire	Papier	Chimie	Minéraux	Métallurgie	Automobile
2, 006	0.00029 (7e-05) ***	-0.00054 (0.00037) *	-0.00012 (7e-05)	-2e-05 (8e-05)	-0.00014 (0.00103)	-0.00091 (0.00078)
2, 007	0.00051 (0.00015) ***	-0.00119 (0.00071) *	-0.00026 (0.00015)	9e-05 (0.00018) *	-1e-05 (0.00191)	-0.00195 (0.00145)
2, 008	0.00081 (0.00023) ***	-0.00185 (0.00108) *	-0.00041 (0.00023)	-6e-05 (0.00023) *	5e-05 (0.00292)	-0.00276 (0.00202)
2, 009	0.00114 (0.00033) ***	-0.00242 (0.00147) *	-0.00052 (3e-04)	-8e-05 (0.00034) *	0.00038 (0.00384)	-0.00352 (0.00289)
2, 010	0.00132 (0.00043) ***	-0.00308 (0.00192)	-0.00067 (0.00037)	-7e-05 (0.00042)	-0.00173 (0.00443)	-0.00426 (0.00359)
2, 011	0.00149 (0.00053) ***	-0.00257 (0.00219)	-0.00082 (0.00045)	-0.00036 (0.00049)	0.00139 (0.00664)	-0.004 (0.00369)
2, 012	0.0018 (0.00057) ***	-0.00121 (0.00187)	-0.00089 (0.00052)	-0.00023 (0.00061)	-0.00418 (0.00423)	-0.00256 (0.004)
2, 013	0.00281 (0.00059) ***	-0.00592 (0.0032) *	-0.00077 (4e-04)	-1e-04 (0.00072) *	-0.00035 (0.00745)	-0.00703 (0.00515)
2, 014	0.00241 (0.00072) ***	-0.00189 (0.0026)	-0.00085 (0.00043)	-0.00058 (0.00067)	0.00395 (0.01025)	-0.00475 (0.00548)
2, 015	0.00296 (0.00077) ***	-0.00853 (0.00413)	-0.00088 (0.00057)	-0.00013 (0.00091) **	0.00075 (0.00914)	-0.01153 (0.00666) *
2, 016	0.00283 (0.00096) ***	-0.00463 (0.00402)	-0.00089 (0.00068)	-0.00032 (0.00099)	0.00646 (0.01582)	-0.0061 (0.00743)
2, 017	0.00344 (0.00092) ***	-0.00541 (0.0049)**	-0.00125 (0.00063)	-0.00039 (0.00111)	-0.00176 (0.01172)	-0.00776 (0.00759)
2, 018	0.00443 (0.00119) ***	-0.00746 (0.00646)*	-0.00124 (0.00071)	-0.00064 (0.00115)	-0.00244 (0.01294)	-0.01158 (0.00451) **
N	2901	563	802	674	299	425

TABLEAU 2.8 – Statistiques descriptives du secteur alimentaire

Variable (milliers d'euros)	Année	<i>Non traité</i>			<i>Traité</i>			t.test
		Moyenne	σ	Nombre	Moyenne	σ	Nombre	
Bénéfice		586	5881	2065	4553	16831	35	0.17
Production de l'exercice		22799	86304	2065	161162	308683	35	0.01
Salaires et traitements	2005	2314	7367	2065	11315	18074	35	0.01
Total de l'actif immobilisé net		6745	36904	2065	40070	70284	35	0.01
Capitaux Propres		5761	29960	2065	36069	55500	35	0.00
Bénéfice		639	7261	2188	3273	11947	42	0.16
Production de l'exercice		28049	116041	2188	201935	342649	42	0.00
Salaires et traitements	2008	2518	7281	2188	14228	21614	42	0.00
Total de l'actif immobilisé net		8129	50347	2188	54752	90603	42	0.00
Capitaux Propres		7072	40561	2188	49193	82604	42	0.00
Bénéfice		754	7699	2108	4146	10131	42	0.04
Production de l'exercice		33543	144469	2108	190743	276480	42	0.00
Salaires et traitements	2013	2984	9297	2108	14717	22426	42	0.00
Total de l'actif immobilisé net		9710	59271	2108	60114	122002	42	0.01
Capitaux Propres		8680	52511	2108	52708	106060	42	0.01

TABLEAU 2.9 – Statistiques descriptives du secteur du papier

Variable (milliers d'euros)	Année	<i>Non traité</i>			<i>Traité</i>			t.test
		Moyenne	σ	Nombre	Moyenne	σ	Nombre	
Bénéfice		312	2833	395	-2529	7592	41	0.02
Production de l'exercice		21490	68425	395	62092	71654	41	0.00
Salaires et traitements	2005	2971	7019	395	8336	8016	41	0.00
Total de l'actif immobilisé net		7089	29930	395	42290	70074	41	0.00
Capitaux Propres		8123	29254	395	39725	84511	41	0.02
Bénéfice		191	2998	415	292	7446	40	0.93
Production de l'exercice		24237	78323	415	79865	85761	40	0.00
Salaires et traitements	2008	3038	6734	415	7981	6792	40	0.00
Total de l'actif immobilisé net		7328	28287	415	45545	63742	40	0.00
Capitaux Propres		8181	28059	415	41276	90399	40	0.03
Bénéfice		118	4534	388	-2586	9227	42	0.07
Production de l'exercice		25345	68906	388	79394	71491	42	0.00
Salaires et traitements	2013	3570	8899	388	8011	5897	42	0.00
Total de l'actif immobilisé net		7062	20864	388	43157	47594	42	0.00
Capitaux Propres		8868	26972	388	31214	58473	42	0.02

TABLEAU 2.10 – Statistiques descriptives du secteur de la chimie

Variable (milliers d'euros)	Année	<i>Non traité</i>			<i>Traité</i>			t.test
		Moyenne	σ	Nombre	Moyenne	σ	Nombre	
Bénéfice		1994	29537	611	5215	16916	39	0.28
Production de l'exercice		47103	217846	611	130727	143353	39	0.00
Salaires et traitements	2005	5078	16720	611	14365	14089	39	0.00
Total de l'actif immobilisé net		17954	83506	611	46761	56143	39	0.00
Capitaux Propres		15448	61622	611	50618	58745	39	0.00
Bénéfice		1183	15940	640	1167	21535	44	1.00
Production de l'exercice		48931	188497	640	146064	201533	44	0.00
Salaires et traitements	2008	5361	16331	640	26072	86107	44	0.12
Total de l'actif immobilisé net		20304	116700	640	285848	1541554	44	0.26
Capitaux Propres		16285	48823	640	88939	279565	44	0.09
Bénéfice		870	19080	617	17371	76621	43	0.17
Production de l'exercice		59715	243197	617	269605	466870	43	0.01
Salaires et traitements	2013	6345	18482	617	27218	70987	43	0.06
Total de l'actif immobilisé net		30537	192382	617	297951	1386275	43	0.21
Capitaux Propres		19984	58144	617	84050	116043	43	0.00

TABLEAU 2.11 – Statistiques descriptives du secteur des produits minéraux

Variable (milliers d'euros)	Année	<i>Non traité</i>			<i>Traité</i>			t.test
		Moyenne	σ	Nombre	Moyenne	σ	Nombre	
Bénéfice		2315	14784	514	1652	3465	42	0.43
Production de l'exercice		27741	88129	514	37975	40518	42	0.17
Salaires et traitements	2005	3922	10409	514	6821	9103	42	0.06
Total de l'actif immobilisé net		18643	99676	514	14622	14389	42	0.41
Capitaux Propres		15477	82650	514	14383	16624	42	0.81
Bénéfice		1345	14343	520	2978	7575	45	0.21
Production de l'exercice		31512	91981	520	44149	51485	45	0.15
Salaires et traitements	2008	3999	10156	520	8102	11304	45	0.02
Total de l'actif immobilisé net		23668	127281	520	26950	51954	45	0.73
Capitaux Propres		15765	85909	520	25018	40135	45	0.19
Bénéfice		553	8748	483	2464	7512	39	0.14
Production de l'exercice		29304	82200	483	53678	59842	39	0.02
Salaires et traitements	2013	4430	11267	483	10008	12990	39	0.01
Total de l'actif immobilisé net		22585	107672	483	28480	41375	39	0.48
Capitaux Propres		16506	78131	483	32616	59576	39	0.12

TABLEAU 2.12 – Statistiques descriptives du secteur de la métallurgie

Variable (milliers d'euros)	Année	<i>Non traité</i>			<i>Traité</i>			t.test
		Moyenne	σ	Nombre	Moyenne	σ	Nombre	
Bénéfice		8988	92902	202	25672	58192	15	0.32
Production de l'exercice		60035	244836	202	331317	442300	15	0.03
Salaires et traitements	2005	7610	23820	202	20741	33799	15	0.16
Total de l'actif immobilisé net		44680	368796	202	109997	155259	15	0.18
Capitaux Propres		32870	229453	202	99522	87748	15	0.02
Bénéfice		7265	93973	217	-1136	45823	16	0.53
Production de l'exercice		73322	353820	217	390989	438975	16	0.01
Salaires et traitements	2008	7797	27881	217	20653	34327	16	0.16
Total de l'actif immobilisé net		42375	351596	217	130809	204688	16	0.13
Capitaux Propres		29685	180513	217	95075	127213	16	0.07
Bénéfice		-17	26203	212	-13855	32090	17	0.10
Production de l'exercice		67354	318034	212	300683	436262	17	0.05
Salaires et traitements	2013	7831	26739	212	18411	27093	17	0.14
Total de l'actif immobilisé net		44122	302762	212	122812	192130	17	0.14
Capitaux Propres		19915	77807	212	53384	57941	17	0.04

TABLEAU 2.13 – Statistiques descriptives du secteur de l'automobile

Variable (milliers d'euros)	Année	<i>Non traité</i>			<i>Traité</i>			t.test
		Moyenne	σ	Nombre	Moyenne	σ	Nombre	
Bénéfice		1672	29236	315	2698	15543	17	0.81
Production de l'exercice		212558	1976244	315	1666080	1607019	17	0.00
Salaires et traitements	2005	17733	119523	315	23800	37076	17	0.59
Total de l'actif immobilisé net		59040	689028	315	202864	225998	17	0.04
Capitaux Propres		33962	255898	315	44805	67280	17	0.62
Bénéfice		-5966	91008	335	-8594	28764	17	0.76
Production de l'exercice		193695	1672599	335	1343450	1160145	17	0.00
Salaires et traitements	2008	17016	108121	335	22969	34621	17	0.57
Total de l'actif immobilisé net		63082	778461	335	201808	203502	17	0.04
Capitaux Propres		23580	118455	335	42825	82822	17	0.37
Bénéfice		-5285	69195	326	-19574	34065	18	0.12
Production de l'exercice		92644	330834	326	884958	984643	18	0.00
Salaires et traitements	2013	16205	100743	326	20433	31211	18	0.65
Total de l'actif immobilisé net		61919	741844	326	146040	147466	18	0.12
Capitaux Propres		23510	197221	326	23957	178733	18	0.99

TABLEAU 2.14 – Effet du SEQE sur l'efficacité par phase

<i>Variable dépendante : Efficience</i>		
	Phases	
	P2	P3
ATT	3e-04	4e-05
	(3e-04)	(0.00069)
Contrôles	OUI	OUI
Observations	8453	8234

Note : *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

La phase 1 est considérée comme phase de pré traitement

CHAPITRE 3

Does the EU-ETS affect the firm's capital structure? Evidence from French manufacturing firms

This chapter is a joint work with Pr. Pascale COMBES-MOTEL (LEO-UCA) and Pr. Sonia SCHWARTZ (LEO-UCA)

This chapter investigates the impact of the European Union Emissions Trading System (EU-ETS) on the capital structure, namely the debt ratio, of French manufacturing firms from 2007 to 2018. To do this, we construct an original database linking French firms subject to the ETS to their financial variables. Using a matching method, we show that firms participating in the ETS have a higher debt ratio than non-participating ones. To consider the effect of the initial allocation of allowances, we divide our sample of treated firms according to their initial allocation quartile. We find that firms with the lowest initial allowances have the highest debt ratio. Furthermore, the ETS's effect on firms' capital structure is observed during Phase 2 (2008-2012) as opposed to Phase 3 (2013-2020) and concerns firms operating on domestic markets. The effect also differs according to the sectors selected. Our results suggest that faced with the ETS, firms anticipated the future tightening of environmental constraints. Firms that received the fewest free-of-charge allowances complied by investing in pollution-reduction technologies relying on debt financing. Environmental policy variables, therefore, have an impact on the financial structure of firms.

Keywords : EU-ETS, capital structure, initial allocation, propensity scores, entropy balancing

Codes JEL C33, G32, Q58, Q53, D22

3.1 Introduction

Several countries have decided to set up carbon pricing mechanisms to curb greenhouse gas emissions. Carbon pricing devices are 68 worldwide, 34 of which are carbon quota markets (World Bank, 2022). For example, in 2005, the European Union set up a market for carbon dioxide emissions known as the EU Emissions Trading System (EU ETS). This market concerns around 11,500 European industrial installations, which accounted for about two billion tonnes, or 45% of European carbon dioxide emissions when the system was set up (Ellerman and Buchner, 2007). Initially set up to help the European Union meet its commitment under the Kyoto Protocol (Commission Européenne, 2003), the ETS was made permanent as part of the March 2009 Energy-Climate Package. It also plays a pivotal role in the European Green Deal, which aims to achieve carbon neutrality by 2050.

Most EU countries allocated free-of-charge allowances from 2012 to 2020, representing 82% of the pollution cap. Allowances are transferable, enabling firms to choose between polluting (and therefore holding allowances) or reducing their emissions. Such a trading scheme has a significant advantage over a command and control approach. It distributes emissions across firms in a cost-effective way. Furthermore, the final distribution of allowances is independent of the initial allocation when the latter is exogenous (Montgomery, 1972). These pollution allowance markets thus provide flexibility for the regulator, who can distribute allowances according to his objective without compromising market efficiency.

Faced with environmental constraints, firms must adapt to reduce their polluting emissions. Improving environmental performance can involve investing in cleaner technologies (Henderson and Millimet, 2007). The financial sector is a crucial player capable of providing resources to finance and disseminate environmental innovation (D'Orazio and Valente, 2019). If the environmental constraint triggered the demand for loanable funds, the firm's environmental performance may play a role in access to credit. Poor environmental performance could limit the ability to obtain loans. On the contrary, sound environmental practices could be an asset to lenders, incentivizing them to provide the financial resources to foster environmental performance. Environmental constraints, therefore, have a potential impact on capital structure.

The market value of a firm is independent of its capital structure, according to the well-known irrelevance theorem of Modigliani and Miller (1958). However, considering corporate taxation (Modigliani and Miller, 1963), the possibility of

bankruptcy (Baxter, 1967) or agency costs (Meckling and Jensen, 1976) has highlighted the influence of financial factors such as the debt-equity ratio on investment decisions. Moreover, asymmetric information can exist between the firm's decision-makers and external fund providers. Hence, the choice of the firm's capital structure becomes crucial. Firstly, it highlights how firms finance their activities. Secondly, it enables optimizing the returns depending on how investments are funded. This choice eventually impacts its ability to face up to its competitive environment.

Nowadays, environmental regulations increasingly shape firms' competitive environment. To the best of our knowledge, the literature has overlooked the impact of environmental regulations on firms' capital structure. Stated differently, this chapter analyses whether environmental constraints set up by the regulator are neutral to firms' capital structure. It, therefore, extends the literature stemming from Montgomery's contribution (Montgomery, 1972) to the corporate finance literature. Interestingly, greenhouse gas emission allowances have become financial instruments (Commission Européenne, 2014), which establishes a link between environmental policy and finance from a regulatory point of view. More specifically, we examine the impact of the EU-ETS on the capital structure of French firms over the period 2007-2018. The expected results have potential policy implications. When the regulator designs an environmental policy, it usually has to consider various parameters such as the type of pollutant, the type of emitter, the nature of the information concerning the abatement costs, and the presence of any market power. Our results could support the regulator paying attention to the banking and financial system situation to design the environmental policy better.

To conduct this study, we are building an original dataset. It merges information on firms' initial allowance allocations obtained from the European Union Transaction Log (EUTL) with firms' financial characteristics provided by the DIANE database. We then carry out an impact analysis to assess whether the ETS has a bearing on the financial structure of firms as measured by their debt ratio. We construct a control group using propensity score matching and weighting methods. Our results show that the EU-ETS affects corporate finance regardless of the method used. According to the Entropy Balancing method, firms belonging to the ETS have a 14.8 percentage points higher debt ratio than non-participating firms. The results also show that the firms at the bottom of the initial distribution of quotas are the ones that take on the most debt. Furthermore, the ETS's impact on firms' capital structure is observed during phase 2, as opposed to phase 3, and concerns firms

operating on domestic markets. The impact also differs according to the sector. Our results suggest that faced with the ETS, firms anticipated the future tightening of environmental constraints. Those that received the fewest free-of-charge allowances complied by investing in pollution-reduction technologies financed by debt.

3.2 Background and related literature

After presenting the ETS (section 3.2.1), we look at the consequences of the ETS for corporate performance indicators (section 3.2.2). We then review the literature on the determinants of the financial structure of firms (section 3.2.3).

3.2.1 The European Union Emissions Trading System

Crocker (1966) and Dales (1968) introduced the idea of markets for pollution rights to internalize a negative externality. The exchange of quotas makes it possible to obtain a distribution of polluting emissions that minimizes the total abatement cost. Another important theoretical result is that the final distribution of quotas does not depend on the initial allocation (Montgomery, 1972). Quota markets are, therefore, particularly attractive to the regulator since they enable flexibility, which the Pigouvian tax does not allow. The regulator can distribute quotas according to its objective (auction or free of charge) or its equity concerns without undermining cost efficiency. The Acid Rain Program was the first large-scale implementation of this type of market to regulate sulfur dioxide emissions in the United States.

Following the Kyoto Protocol in 1997, the European Union undertook to reduce its carbon dioxide emissions by 8% below 1990 levels over the period 2008 to 2012. To meet this target, it adopted Directive 2003/87/EC, known as the ETS Directive (Commission Européenne, 2003), which defines the legal framework for the European carbon market. It covers around 11,500 installations, corresponding to approximately two billion tonnes of carbon dioxide when the EU-ETS was implemented (Ellerman and Buchner, 2007). The market covers carbon dioxide emissions from electricity and heat production, energy-intensive industrial sectors (notably oil refineries, steelworks, and the production of iron, aluminum, metals, cement, lime, glass, ceramics, pulp, paper, cardboard, acids and bulk organic chemicals), and commercial aviation within the European Economic Area. It also includes nitrous oxide (N₂O) from the production of nitric acid, adipic acid, glyoxal, and glyoxylic acid, and perfluorocarbons (PFCs) from the production of aluminum. These different greenhouse gases are converted into tonnes of carbon

dioxide equivalent.

When the EU ETS was introduced in 2005, 27 European Union countries were involved, joined by Norway, Iceland and Liechtenstein in 2008 and Croatia in 2013 ([Commission Européenne, 2017](#)). For Phase 1 (2005-2007) and Phase 2 (2008-2012), each European country had to set up its National Allocation Plan (NAP), subject to approval by the European Commission. This process involved determining the allowances allocated to each installation to achieve the national reduction target. Therefore, European Union Quotas (EUAs) constitute the pollution cap. For Phase 3 (2013-2020) and Phase 4 (2021-2030), the European Commission has downsized quotas distributed each year by 1.74% to tighten the environmental constraint. It amounts to a 20% reduction in 2020 compared to 2005, with the pollution cap set to be reduced by 2.2% per year ([Commission Européenne, 2009](#)).

Member States are responsible for setting up national registers to record the initial allocation, transfer and sale of EUAs. The European Commission has overseen the national emissions registers by keeping the European Union Transaction Log (EUTL) up to date. Emissions from regulated firms are monitored, reported annually by the firm and verified by independent auditors.

Allowances are mainly allocated free of charge in Phases 1 and 2. Countries could auction up to 5% of their NAP in Phase 1 and 10% in Phase 2. However, this option was little used, and only 0.13% of total allowances were sold during Phase 1, with a slight increase during Phase 2 ([Ellerman and Buchner, 2007](#); [Ellerman et al., 2014](#)). The transition from free-of-charge to auctioned allowances is gradual. Since Phase 3, since electricity producers are not subject to international competition, they must buy all their allowances, except for a temporary exemption for eight Central and Eastern European countries. The manufacturing industry continues to receive a share of free-of-charge allowances, down from 80% in 2013 to 30% in 2020. Several sectors “exposed” to carbon leakage (the relocation of production due to climate constraints) benefited from an exemption, with 100% free-of-charge allowances until 2020. Since 2013, the proportion of auctioned allowances to other sectors has risen to 57%. This rate has been kept for the fourth phase, which began in 2021 ([Parlement Européen, 2018](#)). The free-of-charge allowances are based on carbon intensity benchmarks established by product since 2013.

According to [Montgomery \(1972\)](#), the final allocation of quotas after trading is independent of their initial allocation. This result is particularly called into question in the presence of market power ([Hahn, 1984b](#)) or transaction costs ([Stavins, 1995](#)).

While the consequence of the initial allocation of quotas on the final choice of emissions is well documented in the literature, potential implications on corporate financial indicators are overlooked. It is precisely the aim of this chapter to bridge the gap between environmental policy and corporate finance.

3.2.2 Effects of the ETS on firm performance

Environmental policies inducing additional compliance costs may negatively affect corporate performance and competitiveness. However, according to Porter's hypothesis, environmental regulations can positively impact firm productivity (Porter and Van der Linde, 1995). Strict but flexible, they would encourage firms to question their entire production process, thereby abating pollution and fostering productivity gains. In the following, we first look at the literature addressing environmental efficiency, namely whether the EU-ETS allowed reducing carbon emissions. We then turn to how the EU-ETS affect other dimensions such as investment, productivity, and corporate profitability.

Existing studies implement a vast array of methodologies to assess the effect of the EU-ETS. They find that the EU-ETS decreases carbon emissions. Impact analysis methods at the installation level covering four countries (France, Netherlands, Norway and the United Kingdom) provide causal evidence of a 10% decrease in carbon emission reduction up to the end of Phase 1 (Dechezleprêtre et al., 2018). Another study uses the synthetic control method to find that the EU-ETS saved more than 1 billion tons of carbon dioxide despite low carbon prices between 2008 and 2016 (Bayer and Aklin, 2020). A survey of the econometric literature covering Phases 1 and 2 finds that the overallocation (Phase 1) and the 2008-2009 recession (Phase 2) mitigated the effect of the EU ETS on carbon emissions (Laing et al., 2014). A recent study covering the power generation sector comforts this claim, emphasizing that the economic crisis became the leading cause of emission reductions (Chèze et al., 2020).

Regarding investment, productivity, and corporate profitability, the literature reaches diverse conclusions. The first strand of the literature focuses on the effect of environmental regulation on investment, which is a crucial step towards committing to less carbon-intensive technologies and fostering innovation. At first glance, European manufacturing industries reacted positively to stricter environmental regulations (Leiter et al., 2011). Other studies specifically focusing on the effects of the EU-ETS on investment decisions found mixed or non-existent impacts.

Several authors pointed out that the EU-ETS mainly drove small-scale investments (Marcantonini et al., 2017; Hoffmann, 2007)¹, while others found no effect on investment in carbon-mitigating technologies (Löfgren et al., 2014). Existing studies still cover Phase 1 and Phase 2, which call for further research on the dynamic efficiency of the EU-ETS. The survey conducted by Brohé and Burniaux (2015) on Belgian firms pointed out that expected carbon prices were still too low to attract additional financing to invest in these technologies. In the same vein, there are pieces of evidence that free-of-charge allowances adversely affected low-carbon investments (Teixidó-Figueras et al., 2019).

Another strand of the literature scrutinizes how the EU-ETS can foster corporate productivity or efficiency. Existing studies rely on different datasets and measures and cover various sectors. A study on a large panel of EU firms during Phases 1 and 2 suggests a negligible influence of the EU-ETS on Total Factor Productivity (Marin et al., 2018b). This result aligns with D'Arcangelo et al. (2022b) findings on Italian manufacturing firms' Total Factor Productivity. Regarding the EU power generation sector, the EU ETS does not significantly affect productivity measured by Data Envelopment Analysis during Phase 1 (Jaraité and Di Maria, 2012). When it comes to labor productivity, the picture is somewhat different. For instance, studying Norwegian manufacturing firms, Klemetsen et al. (2020b) found positive effects on labor productivity during Phase 2. This result aligns with the study of EU manufacturing firms by Marin et al. (2018b).

Veith et al. (2009) corroborates the positive link between profitability and the ETS for the European power generation sector. Returns in this sector positively correlate with rising quota prices. These results suggest that the ETS increases corporate profits as firms pass on environmental costs in customer prices. Therefore, the ETS's impact on competitiveness should be greater in sectors most exposed to international trade.

While all of the above studies show a positive impact of the ETS on one indicator of firm performance, other studies find no significant impact. For example, Abrell et al. (2011) assessed the effect of the ETS on firms' competitiveness based on data from 2,000 European firms from 2005 to 2008. They conclude that the ETS has a non-significant effect on firms' value-added, marginal profit, or employment

1. Jaraité and Maria (2016) also found a weak effect of the EU-ETS on the Lithuanian firms' investment from 2010. This effect was supposedly driven by the law passed in 2009 by the Lithuanian parliament that limited the possibility to recycle revenues from the sale of EUAs

rate. [Anger and Oberndorfer \(2008\)](#) examine the impact of the ETS on firms' revenue and employment levels, using a sample of German firms from 2005 to 2006. According to their results, the ETS does not impact these variables, which suggests that the effect of carbon regulation on firm competitiveness should, therefore, be limited. Note, however, that these studies cover a short period.

Other studies establish an adverse effect of the ETS on firm indicators. [Marin et al. \(2018b\)](#) analyze the impact of phases 1 and 2 of the ETS on a broad set of economic performance indicators such as value-added, turnover, employment, investment, productivity, and total factor productivity. Based on a large panel of European firms, they show that the ETS has a negative but small impact on these indicators, particularly in phase 2. Regarding employment, [Petrick and Wagner \(2014\)](#) highlight a negative effect of the ETS during the second phase for French firms.

While many studies evaluate the impact of the ETS on firm performance indicators, it is difficult to see a consensus emerging. We open a new perspective that assesses the link between the ETS and firms' capital structure.

3.2.3 The financial structure of firms

The seminal contribution of Modigliani and Miller established the neutrality of the firm's financial structure to its value ([Modigliani and Miller, 1958](#)). The theoretical result holds under the assumptions of perfect competition, no transaction or agency costs, and no asymmetric information, thus making the different financing methods of the firm perfectly substitutable. Departing from the neutrality of the financial structure has given rise to two main streams of the corporate finance literature, namely the trade-off (TOT) and the pecking order theories (POT). All theories revolve around the benefits and costs of debt financing. However, they differ according to which market imperfection seems most relevant².

The TOT departs from the framework posited by Modigliani and Miller while relaxing several assumptions. First, Modigliani and Miller amended their initial neutrality claim while considering the deductibility of interest payments from

2. [Baker and Wurgler \(2002\)](#) argued that firms can also adjust their financing choices on financial market conditions. For instance, they try to raise funds when market conditions are favorable, namely when interest rates are low or stock markets are performing well. The intention is to exploit temporary fluctuations in the cost of equity relative to the cost of other forms of capital. Hence, the "equity market timing" reflects the intention to benefit from temporary fluctuations in the cost of equity relative to other capital financing costs.

corporate-tax liabilities. Hence, debt financing incurs a tax advantage (Modigliani and Miller, 1963). However, indebtedness increases the debt service and, therefore, the firm's default risk : excessive leverage increases the cost of capital (Baxter, 1967). Issuing debt generates agency costs (Meckling and Jensen, 1976) that are borne either by the principal (the owner or shareholders) or the agent (the managers). Minimizing the agency costs allows for determining an optimal debt ratio. Bradley et al. (1984) propose a theoretical model synthesizing these different developments about the optimal capital structure.

The POT builds on the premise that managers have information that investors do not have (Myers and Majluf, 1984; Myers, 1984). This asymmetric information between the firm and shareholders leads managers to adopt an investment strategy to reduce adverse selection costs. The firm has a preference ranking over financing sources. For instance, it makes sequential choices over funding sources, preferring internal to external financing. This is especially true for small and medium-sized firms, whose owners are usually the managers. Borrowing is not the preferred financing, as it requires rigorous management and implies a dependence on financial institutions compared with internal financing. Capital increases are relegated to the back burner, meaning a loss of power towards new investors³. Financial distress can also impact a firm's financial structure (Gordon, 1971). Under the risk of financial distress, the firm's asset type could affect its financing choice. Thus, holding tangible assets may indicate that the firm is in better financial health and can increase its indebtedness. However, according to the POT, a firm holding many tangible assets prefers to raise less debt.

We study in this chapter whether traditional determinants of corporate leverage should be augmented to consider environmental policies. To our knowledge, this channel is overlooked in the literature. Ginglinger and Moreau (2023) article attempts to assess the effect of climate change risk on the capital structure. Still, it does not directly address the effect of environmental policies on the capital structure. Adeneye et al. (2023) highlights a positive relationship between a voluntary approach, namely sustainable practices such as the ESG's score (Environmental, Social, and Governance) and the capital structure. Implementing an environmental policy such as a mandatory climate policy generates additional costs for firms to achieve compliance, which could affect the capital structure. In the following, we

3. A review of the empirical research on the capital structure is provided by Graham and Leary (2011)

econometrically investigate whether the EU-ETS impacts the capital structure of French firms.

3.3 Data and descriptive statistics

We describe how we built our database and then present descriptive statistics.

3.3.1 Database construction and variable selection

We compile an original dataset merging the EUTL (EU Transaction Log) and DIANE databases that provide financial information on French firms. The EUTL database entails information on firms involved in the EU-ETS. It covers all the firms participating in the EU ETS, specifying their country, their verified emissions for each compliance year, and their initial allowance allocations. We use the Initial allocation variable, our variable of interest. It is expressed in tonnes of carbon dioxide equivalent. We consider its logarithmic value to lessen the influence of extreme values.

The data available are those for plants that are the smallest production units relevant for the decision on inclusion in the ETS. The ETS covers several plants that are managed by accounts. Each plant is linked to a single account, but each account can be linked to several plants. These accounts may belong to firms with Operator Holding Accounts or to individuals with Personal Holding Accounts. To ease the exploitation of the EUTL data, we follow [Jaraité et al. \(2014\)](#). We match the information of the ETS installations to their respective managing firms and supplement them with the information of the owners of these managers up to the last level. For example, if firm X owns a facility and is itself 50.01% owned by firm Y and Y is also 50.01% owned by firm Z, the latter is the Global Ultimate Owner (GUO) of the facility.

The resulting dataset contains the plants, the firms managing the accounts (firm X in our case), and the GUOs for each firm. A total of 13,512 operator accounts were obtained, of which 1,136 were for France. We retrieve the identifiers of French firms, which are the SIREN (Système d'Identification du Répertoire des Entreprises - Firm Directory Identification System) numbers. It is a unique INSEE (Institut National de la Statistique et des Études Économiques – National Institute of Statistics and Economic Studies) code used to identify a firm, organisation or association with activities in France. The SIREN number enables us to identify

the selected firms.

Since the objective of this chapter is to analyze the impact of the ETS on corporate capital structure, we need variables that reflect the financial structure, as well as determinants of the capital structure of firms. Using firm identifiers, we obtain these data from the DIANE database. It contains firms' financial data, financial strength indicators, share data for publicly traded firms, scores and valuations, original filings/images, detailed capital structures, market research, economic and firm news, mergers and acquisitions transactions and rumors, maps, and map analysis.

We use Debts and Net total assets to construct the capital structure variable (Debt ratio). We follow [Ziane \(2004\)](#) and [Daskalakis and Psillaki \(2008\)](#), according to which the capital structure is defined by the ratio of the firm's debts to its net total assets. Debts represent the borrowings made by firms from financial institutions or their suppliers. Total net assets represent the value of the firm's assets, i.e. what it owns net of loans.

Next, we consider financial variables to control for drivers of the financial structure of firms reported in the corporate finance literature reviewed in Section [3.2.3](#). Using fixed assets, we compute the Asset structure variable, which represents the proportion of total assets made up of fixed assets. When a firm has tangible assets such as equipment or land, it can reduce costs in the event of financial distress. We also include the Self-financing ratio to measure the firm's profitability. Represented by the surplus remaining at the end of the financial year, this ratio indicates the firm's ability to bear costs, repay its loans, distribute incomes or save without external financing. According to the POT, the most profitable firms prefer to self-finance with internal funds rather than debt. Data on profits are used to calculate the firm's Profitability, measured by the ratio between profits and net assets. This ratio allows us to take into account the firm's financing margin. A firm may decide to reduce the payments to investors if it has a high financing requirement. Profitable firms may need less debt to self-finance.

We also consider the level of employment used in the firm, which we measure by the Number of employees. A firm with a large workforce has higher costs and could take on debt. We also use Sales, the value of total sales, to proxy the size of the business; it is expressed in thousands of euros. A "big" firm is supposed to be more able to generate cash that could, in turn, finance additional investment. We eventually extract the date the business was set up to obtain its Age. The age of

the firm can have different effects on the use of credit. Within the POT, [Berger and Udell \(1998\)](#) noted that small and medium enterprises make less use of debt as the age of the firm increases, suggesting that firms have a financial life cycle. The intuition is that mature firms have better control over their costs and can access lower interest rates. Long-established firms also have a reputation and accounting history that eases access to credit.

3.3.2 Descriptive statistics

Our database contains a total of 10,627 French firms, of which 392 ETS participants and 10,235 non-participants between 2007 and 2013. [Table 3.1](#) reports the variables' statistics for different trading phases : 2007 (phase 1), 2008 (phase 2) and 2018 (phase 3). The Age variable is the number of years the firm has been in business from its creation until 2018. Firms are, on average, 41 years old and have an average workforce of 874 employees (in 2008). Regarding capital structure, we note that debt represents 58% (in 2008) of the firm's total assets. Allowances distributed over the period averaged 11,8766 tonnes of carbon equivalent per firm in 2008, with a notable strengthening of the policy in phase 3.

The Debt ratio increased more rapidly between 2007 and 2013 for firms subject to the EU ETS than for firms not subject to the system. It rose from 0.55 in 2007 to 0.62 in 2013 for treated firms and from 0.64 in 2007 to 0.66 in 2013 for untreated firms. However, this observation alone is insufficient to conclude the evolution of the difference in capital structure between the two groups. Firms subject to the EU ETS also have higher average values for the variables selected than firms not subject to the system. For example, they are older and have higher self-financing or sales. These data could suggest that these firms may have easier access to credit. These differences do not allow us to infer the effect of ETS, which necessitates an econometric setting to conduct impact analysis.

The firms in our sample belong to 19 different sectors, listed in [table 3.2](#)⁴. We have chosen to retain only the six sectors with the most firms for the remainder of our analysis : manufacture of food products (NAF 10), manufacture of paper products (NAF 17), manufacture of chemicals and chemical products (NAF 20), manufacture of other non-metallic mineral products (NAF 23), manufacture of basic metals (NAF 24), and manufacture of motor vehicles, trailers and semi-trailers (NAF 29).

4. [Table 3.11](#) gives the full names of the sectors according to the French classification of activities and the shorter names we use in the chapter.

These sectors include prominent firms, such as Danone (NAF 10). The chemical products sector is represented by firms such as Lubrizol and Air Liquide (NAF 20), while the minerals sector harbors Rockwool (NAF 23). In the automotive sector (NAF 29), Peugeot is a major player, while in the basic metals sector (NAF 24), our sample includes ArcelorMittal, one of the world's largest steel producers. The free-of-charge allowances allocated to these sectors are shown in figure 3.1 in appendix.

3.4 Econometric setup

We present our econometric approach to highlighting the effect of introducing the ETS on the firms' capital structure. To do this, we carry out an impact analysis. It compares firms to the ETS (treated firms) with those not subject to the ETS (untreated firms). The data used comes from DIANE and EUTL for the period 2007-2018. We estimate the Average Treatment Effect to assess and quantify the effect of the EU ETS on the financial structure. The Average Treatment effect on the Treated writes as follows :

$$ATT = E(Debt_Ratio_{it}^1 | D = 1) - (Debt_Ratio_{it}^0 | D = 1)$$

i is the index of French firms, and t is the index for years with $t = 2007, \dots, 2018$. D represents the treatment status. $(Debt_Ratio_{it}^1 | D = 1)$ is the Debt Ratio in the presence of the treatment and $(Debt_Ratio_{it}^0 | D = 1)$ is the Debt ratio that would have been observed in treated firms had they not been subject to the ETS. As this value is unobserved, it must be estimated. Direct comparison with the control group would only be possible if the participation decision were random. Where this is not the case, there may be a selection bias resulting in a bias in the treatment effect. As the decision to join the ETS is not random, this problem may arise in our study. To address this issue, which is important for the internal validity of our study, we rely on matching methods : we compare firms subject to the ETS with a sample of firms that do not participate but share the same characteristics. Matching has been widely used for assessing the efficiency or the competitiveness of the EU (e.g. Verde (2020) for a review) and to study the drivers of the capital structure (Faccio and Xu, 2015)⁵.

5. Several existing studies on the environmental efficiency of the EU-ETS rely on the Difference-in-Difference method (e.g. Dechezleprêtre et al. (2018)). Since our financial data were not available

TABLEAU 3.1 – Treated and non-treated firms' characteristics

Variable	Year	<i>Treated</i>			<i>Non Treated</i>		
		Mean	S.D	N	Mean	S.D	N
Initial allocation (tons CO2 eq)		122990.79	648450.07	392	-	-	-
Debt ratio (%)		0.55	0.29	392	0.64	0.79	10235
Self-financing ratio (%)		5.38	10.38	392	4.61	8.81	10235
Sales (thousands of euros)		446610.11	842231.87	392	39907.20	475076.75	10235
Debts (thousands of euros)	2007	225703.95	650589.67	392	18482.50	277324.99	10235
Number of employees		1439.24	6697.61	392	140.78	698.58	10235
Profitability (%)		0.07	0.68	392	0.04	0.16	10235
Asset structure (%)		0.45	0.22	392	0.29	0.21	10235
Age		42.54	18.40	392	35.14	17.08	10235
Initial allocation (tons CO2 eq)		118766.84	544072.19	392	-	-	-
Debt ratio (%)		0.58	0.40	392	0.65	0.99	10235
Self-financing ratio (%)		5.79	9.28	392	3.93	10.03	10235
Sales (thousands of euros)		427562.26	809218.97	392	41114.78	474862.30	10235
Debts (thousands of euros)	2008	199186.10	518808.69	392	19225.66	322687.36	10235
Number of employees		874.65	2066.66	392	135.90	685.45	10235
Profitability (%)		0.01	0.28	392	0.02	0.18	10235
Asset structure (%)		0.47	0.21	392	0.30	0.21	10235
Age		41.33	18.38	392	35.14	17.08	10235
Initial allocation (tons CO2 eq)		95232.23	428369.85	392	-	-	-
Debt ratio (%)		0.62	0.41	392	0.67	26.34	10235
Self-financing ratio (%)		4.44	7.97	392	3.39	10.26	10235
Sales (thousands of euros)		552500.89	1980141.41	392	42827.18	463312.25	10235
Debts (thousands of euros)	2013	296004.12	1086656.63	392	17873.53	162255.99	10235
Number of employees		1293.51	4756.19	392	136.70	636.69	10235
Profitability (%)		-0.01	0.33	392	-0.01	2.15	10235
Asset structure (%)		0.45	0.23	392	0.31	0.21	10235
Age		38.94	18.58	392	35.14	17.08	10235

Source : Authors' calculation from the EUTL and DIANE databases

TABLEAU 3.2 – Number of firms by sector

NAF	Secteur	2007		2008		2013	
		Contrôle	Traité	Contrôle	Traité	Contrôle	Traité
10	Food industries	2945	81	2945	81	2945	81
11	Beverage manufacturing	264	6	264	6	264	6
12	Manufacture of tobacco products	2	2	2	2	2	2
13	Textile manufacturing	466	4	466	4	466	4
16	Woodworking and manufacture of wood and cork products	563	10	563	10	563	10
17	Paper and paperboard industry	521	71	521	71	521	71
19	Coke and refined petroleum products	21	6	21	6	21	6
20	Chemical industry	763	65	763	65	763	65
21	Pharmaceutical industry	218	5	218	5	218	5
22	Rubber and plastic products	1348	9	1348	9	1348	9
23	Other non-metallic mineral products	628	73	628	73	628	73
24	Metallurgy	285	26	285	26	285	26
25	Manufacture of fabricated metal products	15	0	15	0	15	0
26	Computer, electronic and optical products	285	3	285	3	285	3
27	Manufacture of electrical equipment	88	2	88	2	88	2
28	Manufacture of machinery and equipment n.e.c.	693	3	693	3	693	3
29	Automotive industry	421	18	421	18	421	18
30	Manufacture of other transport equipment	207	6	207	6	207	6
31	Manufacture of furniture	502	2	502	2	502	2

Source : Authors' calculation from the EUTL and DIANE databases

The full name of manufacturing sectors according to the French classification of activities is available in table 3.11

We define pre-treatment variables to elaborate the control sample of firms. We discard financial variables because they theoretically do not influence the probability of a firm being treated. Therefore, we consider the following non-financial variables : Age, the number of subsidiaries, the domestic or international nature of the firm market, and the sector of activity. We add control variables to evaluate the average treatment effect (Rubin and Thomas, 2000). These control variables are deemed to influence the debt ratio of firms, namely financial and non-financial variables, such as Self-financing ratio, Sales, Profitability, Asset structure, and Number of employees. The addition of year-fixed effects captures temporal variations that are common to all firms, such as macroeconomic factors. Firm fixed effects account for unobserved firm characteristics that do not vary over time. Note that a review of empirical research on capital structure concluded that firm fixed effects likely capture a large part of the unexplained capital structure (Graham and Leary, 2011).

When we use the Nearest Neighbor Matching method (section 3.4.1), the control group is made up solely of the selected neighbors, regardless of their distance from the nearest individual. We also use weighting methods that allow us to keep the total sample by weighting individuals by their probability of belonging to the treatment group (section 3.4.2).

3.4.1 Matching

Matching methods in impact evaluation involve selecting a sample from the control group in such a way as to cancel out the differences between this sample and the treated group, conditional on several covariates. The aim is to compare similar individuals so that the effect of the difference between the treated and untreated groups can be attributed to the ETS. We, therefore, need to find individuals who are similar to the treated individuals conditionally on variables that are not influenced by participation in the ETS. Finding similar individuals conditional on a large number of characteristics can prove problematic. Relying on propensity score matching can circumvent the problem (Rosenbaum and Rubin, 1983; Rosenbaum, 2002; Abadie and Imbens, 2011). The propensity score is the probability that a firm receives the treatment, namely the ETS, based on the observed values of its characteristics.

before 2007, we are not able to implement Difference-in-Difference estimators. We solely rely on matching methods.

We first consider the most common method which is $k=1$ nearest neighbor matching (1-NN). It matches each treated firm with the control individual with the smallest distance from the treated, namely, the closest propensity score. However, this method of measuring distance may not be accurate if the nearest neighbor has a propensity score value that is quite distant. It is suggested to use more than one nearest neighbor. Then, instead of using a defined number of neighbors, the nearest neighbor matching method can also consist of defining a radius that is a distance threshold within which all individuals will be considered as counterfactuals. When we use the nearest neighbor matching method, the control group is made up solely of the selected neighbors, regardless of their distance from the nearest individual. We, therefore, use weighting methods that allow us to keep the total sample by weighting individuals by their probability of belonging to the treatment group.

3.4.2 Weighting

Weighting methods allow keeping the majority of firms in the control group and giving them weights to reduce the differences in the weighted average between the treatment group and the control group.

We rely on Inverse Probability Weighting (IPW) ([Robins et al., 2000](#)). Instead of keeping the nearest neighbors, the propensity scores are used to weight the control sample. Firms most likely to participate in the treatment are given a higher weight. This method provides more flexibility to eliminate differences in means between the two groups. However, the propensity score is a parametric method that involves estimating the propensity scores and then checking whether the scores satisfy the condition of comparability of the two groups. The Entropy Balancing method ([Hainmueller, 2012](#)) also makes it possible to reduce differences between the covariates of two groups. It is deemed an appealing alternative to weighting methods ([Zhao and Percival, 2016](#)).

3.5 Results and discussion

We first present the main results, namely the effect of the EU ETS on the capital structure as measured by the debt ratio, and then proceed with a heterogeneity analysis.

3.5.1 Main results

We estimate the effect of the ETS on the debt ratio using different matching and weighting methods (section 3.5.1). We then assess the intensity of the treatment while considering quartiles of initial allowances (section 3.5.1).

EU ETS and capital structure

According to the results of the computation of the propensity scores (Table 3.12 in Appendix), we can construct the control group. The explanatory power of the model is acceptable with a pseudo-R2 equal to 0.36. figure 3.2 on the left presents the distribution of scores before and after adjustment using the 1-Nearest Neighbor. Many firms in the treated group have a low probability of being treated, a trend that reverses as the propensity score moves away from zero. figure 3.2 displays the same distribution after adjustment and shows that the two distributions overlap, suggesting a significant similarity between the two groups. Therefore, each individual in the treated group appears to be matched to a similar firm in the untreated group.

Overall, the mean differences between the groups of treated and untreated firms are reduced after applying all the adjustment methods. For nearest neighbor matching methods, we consider one nearest neighbor and a radius of 0.05⁶. For the weighting methods, Inverse Probability Weighting does not reduce the differences in means adequately⁷, unlike Entropy Balancing. Table 3.3 presents the means of the covariates and shows that they are statistically different between the treated and the control group. Table 3.4 shows that the means of the covariates after adjustment are not statistically different between the treated and the control group using the Entropy Balancing.

We report treatment effects in Table 3.5. We display results based on Nearest Neighbor Matching in the first two columns and those based on Inverse Probability Weighting and Entropy Balancing in the last two columns. All four matching methods provide strong evidence that the ETS positively affects the capital structure. Firms participating in the ETS have a higher debt ratio than firms not subject to this environmental regulation. We can observe that the weighting methods allow us

6. We also tried other parameters such as 2 or 3 neighbors or using a radius of 0.1 or 0.5, which did not improve the matching.

7. Means after adjustment using the 1 NN, NN with a radius of 0.05 and IPW are respectively reported in table 3.13 - 3.15 in Appendix

to keep a larger number of firms. Given the poor performance of Inverse Probability Weighting for the adjustment of averages, we can consider that the result obtained by this sampling method is underestimated. Thus, we believe that the Entropy Balancing method delivers the most reliable estimates.

According to Entropy results, the debt ratio is 0.148 percentage points higher for firms participating in the EU ETS than for non-participating firms, representing an increase of about half the standard deviation of treated firms in 2007. The magnitudes of the effects with the 1 Nearest Neighbor or the 0.05 Nearest neighbor are pretty similar.

According to the theoretical literature on pollution quota markets, firms trade off between reducing their emissions and buying quotas in the short run, which is known as static arbitrage (Tietenberg, 1985). They can also take a longer-term view and make a dynamic trade-off. In this case, firms balance the cost of buying quotas over several periods against investment in new, less polluting technologies. Our results show an increase in the debt ratio of treated firms, which seems to indicate that firms are making a dynamic trade-off when facing environmental regulation. They choose to invest in new technologies financed by debt. In brief, according to our results environmental policy is a determinant of the capital structure of firms.

Capital structure and free-of-charge initial allowances

The above results consider the impact of being subject to the ETS on the capital structure of French firms. Montgomery (1972) established that the final distribution of quotas, i.e. after trading on the secondary market, is independent of the initial allocation. If, under specific hypotheses, the initial allocation of quotas does not affect the environmental decisions of firms, it could impact their financial structure. To investigate this point, we divide our sample of treated firms into four according to their allocation quartile. The firms receive different allocations of allowances from one another. We then compare them with the untreated firms that are most similar to them, conditional on our control variables that affect the capital structure : Self-financing ratio, Sales, Number of employees, Profitability and Asset structure.

Table 3.6 reports the effect of the ETS according to the quartile of initial allowances, with the last column showing the estimated effect on the full sample as reported in table 3.5. The results, obtained using the Entropy Balancing sampling method, first confirm the positive effect of the ETS on firms' debt ratios. The effect is significant for firms in the first three quartiles. We note that it decreases in absolute value.

Firms in the fourth quartile do not differ significantly from the control sample ⁸.

According to our results, firms subject to the EU ETS take on more debt than others, and this effect depends on the initial allowances. More specifically, the debt ratio of firms in the first quartile is 0.215 percentage points higher than that of firms not subject to the quota market. The magnitude of the effect is about the same as the 2007 standard deviation of the debt ratio of the treated firms reported in table 3.1. However, the magnitude of the effect diminishes for the higher quartile firms. In the Q4 quartile, firms receive the highest quantities of quotas. Their behaviour is similar to that of firms not participating in the ETS. Reflecting to the seminal theoretical result established by [Montgomery \(1972\)](#), the initial allocation of quotas has no impact on a firm's pollution level. This econometric study shows that the initial allocation of quotas influences firms' financial structure.

3.5.2 Heterogeneity analysis

We have shown that the ETS increases the share of corporate debt in total net assets. This overall effect could differ depending on the phase of the ETS, the type of market (domestic or international), the economic sector in which the firm operates and profitability.

The effect of the ETS for phases 2 and 3 appears in table 3.7. We did not carry out the analysis of phase 1 because the number of observations was too small. We note that the ETS increased the debt ratio during phase 2 (2008-2012). However, this effect is not observed in phase 3 (2013-2018). This result suggests that, in phase 2, firms anticipated a future tightening of environmental constraints. Indeed, the pollution cap was lowered between phases 2 and 3. Firms anticipated the lowering of the pollution cap by choosing to invest in less pollution-intensive technologies. These investments contributed to an increase in the amount of debt on firms' balance sheets. This result corroborates the dynamic arbitrage by firms subject to the ETS.

The effect of the ETS on the financial structure could also depend on whether the firms operate in a domestic or international market. According to our results in table 3.8, firms that operate mainly on a domestic market take on the most debt. The treatment effect is statistically zero for firms mainly operating on international markets. As free allocations are primarily granted to sectors exposed to foreign

8. These results are robust when we use the Nearest Neighbour Matching method (Table 3.16 in Appendix)

competition, this result confirms the impact of the initial allocation of quotas on the firm's financial structure.

The ETS implies substantial heterogeneity in initial sector allocations (figure 3.1 in the Appendix). We might, therefore, expect our results to differ according to the sector of activity. We report in table 3.9 the estimated effects of the ETS according to the sector. Our main result is corroborated by the food, minerals, and basic metals sectors. Firms in these sectors take on more debt than those not participating in the ETS. The chemicals and paper sector show a non-significant effect. However, we obtained a different result for the automotive sector, namely a negative effect of the ETS on capital structure. However, this effect could be biased since only 18 firms are included in this sector.

Lastly, we also check whether "profitable" firms react differently to the treatment. We define "Profitable" ("Less profitable") firms as those whose profitability at the beginning of the study period (2007) is above (below) the median value. The ATT is negative for "Profitable" firms and positive for "Less profitable" firms. Table 3.10 provided econometric evidence that the EU ETS drove less profitable firms to take on more debt and more profitable firms to take on less debt. Firms could finance the abatement investments through equity or self-financing. Profitable companies could better afford these non-debt-creating investments.

3.6 Concluding remarks

Our study addresses the effect of the EU ETS on corporate finance. Departing from the Modigliani and Miller irrelevance proposition, we assess the impact of the EU ETS on the capital structure of French firms from 2007 to 2018. We built an original database compiling data from the EU Transaction Log and DIANE databases on initial allowances and firms' financial information to do this.

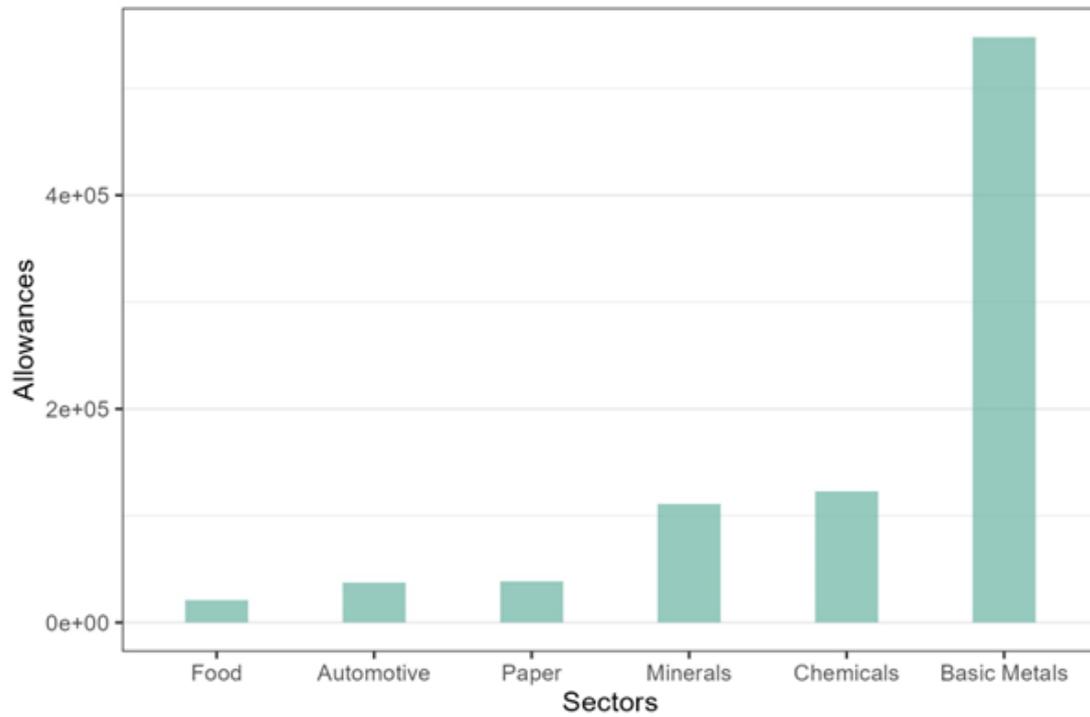
Our main results are the following. First, we provide robust evidence that emission quotas have a positive and significant effect on firms' capital structure over the period studied : firms subject to the EU ETS have a 0.148 percentage point higher debt ratio than non-participating firms. Second, we sought to determine whether this effect was linked to the initial allowances allocation. To do this, we divided our sample into quartiles of initial allowances. We found that firms with the lowest initial allowances have the highest debt ratio. Moreover, this result holds in phase 2 but not in phase 3, which we explain by firms making a dynamic environmental trade-off : anticipating a tightening of environmental constraints in phase 2, firms have leveraged debt to finance investment in less carbon-intensive technologies. Our main result also holds for firms that operate at a domestic level. One plausible explanation is that since these firms are less exposed to international competition, they have received the fewest quotas. Our results vary across sectors. While the EU ETS has no effect in the paper and chemicals sectors, the food, minerals, and basic metals sectors show similar results to the whole sample. Lastly, we provided econometric evidence that the EU ETS drove less profitable firms to take on more debt and more profitable firms to take on less debt.

Our study also contributed to the literature stemming from [Montgomery \(1972\)](#). It focuses on the possible effects of the initial allowances not on the environmental performance but on the corporate finance. Insofar as the effect of free-of-charge allowances vanishes for the highest quartiles of quotas, our results suggest that the initial allocation of quotas impacts firms' financing choices. By setting up a quota market and allocating free-of-charge allowances according to the ETS rule, the regulator leads firms to take on more debt. Therefore, our result means that implementing a quota market must anticipate this effect on corporate finance, which requires the regulator to monitor financial markets. Financial institutions must support firms subject to environmental constraints to enable them to make the necessary investments by granting them credit facilities.

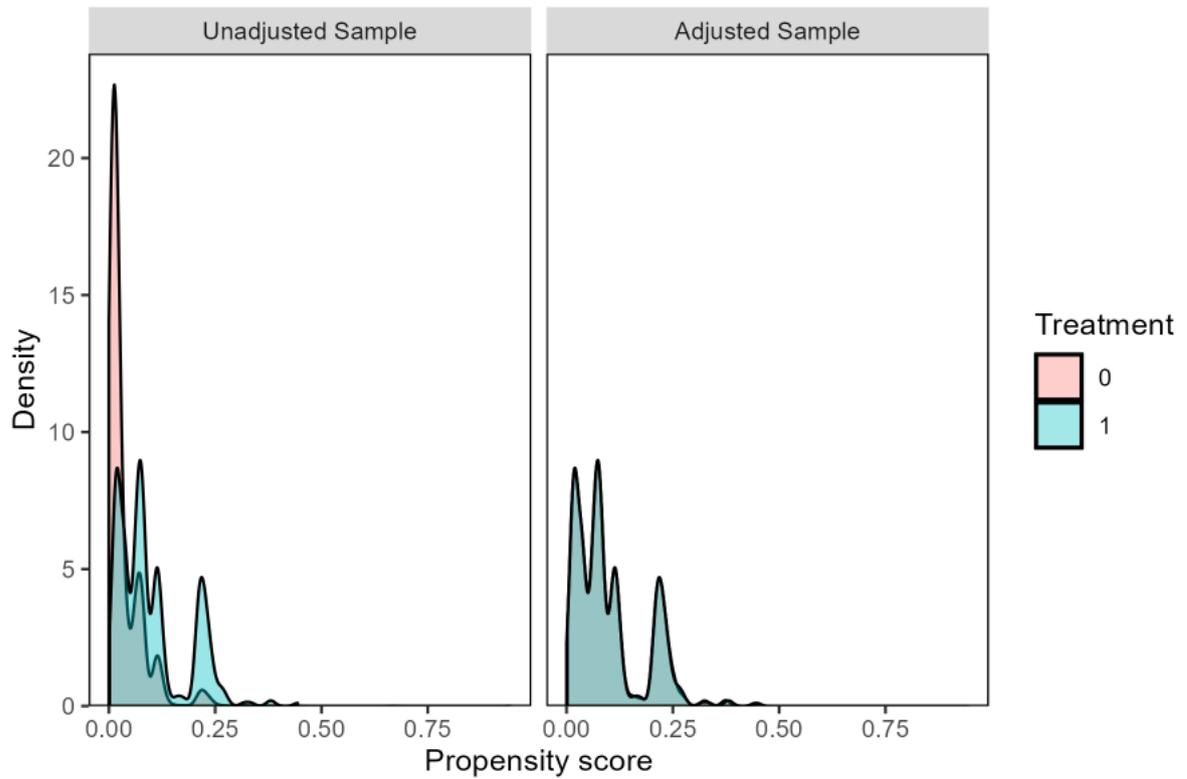
This chapter could be improved in several ways. We could consider the variables

determining the probability of participation in the market as the thermal capacity, which is the main criterion used to designate the firms submitted to the EU-ETS. Future studies could also analyze sectors individually. In particular, our results for the automotive sector deserve further investigation.

3.7 Annexes



GRAPHIQUE 3.1 – Mean free-of-charge allowances by sector, all phases (tons eq CO2)



GRAPHIQUE 3.2 – Density balance of propensity score (1 Nearest Neighbour)

TABLEAU 3.3 – Means of the covariates before adjustment

NAF	Sectors and Variables	Non-ETS	ETS	T-test p-value
	Age	35.17	37.71	0.00
	Subsidiaries	0.22	0.46	0.00
	Domestic	0.69	0.44	0.00
10	Food	0.29	0.21	0.00
11	Beverages	0.03	0.02	0.00
12	Tobacco products	0.00	0.01	0.00
13	Textiles	0.05	0.01	0.00
16	Wood and cork products	0.05	0.03	0.00
17	Paper	0.05	0.18	0.00
19	Coking and refining	0.00	0.02	0.00
20	Chemicals	0.07	0.17	0.00
21	Pharmaceutical industry	0.02	0.01	0.00
22	Rubber and plastic	0.13	0.02	0.00
23	Minerals	0.06	0.19	0.00
24	Basic metal	0.03	0.07	0.00
25	Fabricated metal products	0.00	0.00	0.00
26	Information technology	0.01	0.01	0.00
27	Electrical equipment	0.03	0.01	0.00
28	Machinery	0.07	0.01	0.00
29	Automotive	0.04	0.05	0.10
30	Other transport equipment	0.02	0.02	0.00
31	Furniture	0.05	0.01	0.00

Note : Age is the age of the firm, namely, the number of years the firm has been in business from its creation until 2018. Subsidiaries is a dummy variable equal to 1 if the firm has subsidiaries. Market is a dummy variable equal to 1 if the firm operates in the domestic market. The full names of sectors are available in table [3.11](#)

TABLEAU 3.4 – Means of the covariates after adjustment – Entropy balancing

NAF	Sectors and Variables	Non-ETS	ETS	T-test p-value
	Age	37.71	37.71	1.00
	Subsidiaries	0.46	0.46	0.98
	Market	0.44	0.44	0.96
10	Food	0.21	0.21	0.97
11	Beverages	0.02	0.02	1.00
12	Tobacco products	0.01	0.01	0.98
13	Textiles	0.01	0.01	0.96
16	Wood and cork products	0.03	0.03	0.96
17	Paper	0.18	0.18	1.00
19	Coking and refining	0.02	0.02	0.99
20	Chemicals	0.17	0.17	0.99
21	Pharmaceutical industry	0.01	0.01	0.99
22	Rubber and plastic	0.02	0.02	0.98
23	Minerals	0.19	0.19	0.99
24	Basic metal	0.07	0.07	0.98
25	Fabricated metal products	0.00	0.00	0.00
26	Information technology	0.01	0.01	0.99
27	Electrical equipment	0.01	0.01	1.00
28	Machinery	0.01	0.01	1.00
29	Automotive	0.05	0.05	0.99
30	Other transport equipment	0.02	0.02	1.00
31	Furniture	0.01	0.01	0.89

TABLEAU 3.5 – Impact of the EU ETS on the capital structure

	<i>Dependent variable</i>			
	Capital structure			
	1 - NN	.05 distance	Entropy	IPW
ATT	0.124** (0.058)	0.131** (0.059)	0.148*** (0.044)	0.048*** (0.013)
Robust standard errors	YES	YES	YES	YES
Year fixed effects	YES	YES	YES	YES
Individual fixed effects	YES	YES	YES	YES
Controls	YES	YES	YES	YES
Observations	4,256	4,137	46,615	46,615

Note :

*p<0.1 ; **p<0.05 ; ***p<0.01

Control variables are Self-financing ratio, Sales, Number of employees, Profitability, and Asset structure

TABLEAU 3.6 – Effect of the EU ETS on capital structure by allocation quartile

	<i>Dependant variable</i>				
	Capital structure				
	Q1	Q2	Q3	Q4	Total
ATT	0.215*** (0.062)	0.207*** (0.073)	0.177*** (0.061)	0.079 (0.073)	0.148*** (0.044)
Robust standard errors	YES	YES	YES	YES	YES
Year fixed effects	YES	YES	YES	YES	YES
Individual fixed effects	YES	YES	YES	YES	YES
Controls	YES	YES	YES	YES	YES
Observations	45,134	45,109	45,115	45,177	46,615

Note :

*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

We use Entropy Balancing to build the control group. We keep the same control variables as the results reported in table 3.5

TABLEAU 3.7 – Effect of the EU ETS by phase

	<i>Dependant variable</i>	
	Capital structure	
	P2	P3
ATT	0.170*** (0.057)	0.054 (0.054)
Robust standard errors	YES	YES
Year fixed effects	YES	YES
Individual fixed effects	YES	YES
Controls	YES	YES
Observations	19,717	21,824

Note : *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

We use Entropy Balancing to build the control group

TABLEAU 3.8 – Impact of the EU ETS according to the market

	<i>Dependant variable</i>	
	Capital Structure	
	Domestic	International
ATT	0.396*** (0.134)	-0.015 (0.026)
Robust standard errors	YES	YES
Year fixed effects	YES	YES
Individual fixed effects	YES	YES
Controls	YES	YES
Observations	27,570	17,422

Note : *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

We use Entropy Balancing to build the control group

TABLEAU 3.9 – Impact of EU ETS according to the sector

	<i>Dependent variable</i>					
	Capital Structure					
	Paper	Food	Minerals	Chemicals	Metallurgy	Automotive
ATT	0.159 (0.120)	0.045* (0.023)	0.080*** (0.018)	-0.014 (0.016)	0.077*** (0.021)	-0.130** (0.059)
Robust standard errors	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Year fixed effects	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Individual fixed effects	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Controls	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Observations	2,594	12,030	12,178	12,233	12,244	2,917

Note :

*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

We use Entropy Balancing to build the control group

TABLEAU 3.10 – Impact of the EU ETS according to the profitability

	<i>Dependant variable</i>	
	Capital Structure	
	Profitable	Less profitable
ATT	-0.076*	0.154
	(0.040)	(0.064)
Robust standard errors	YES	YES
Year fixed effects	YES	YES
Individual fixed effects	YES	YES
Controls	YES	YES
Observations	21,192	25,423

Note : *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

We use Entropy Balancing to build the control group. “Profitable” firms are those of which the 2007 profitability ratio is above the median value

TABLEAU 3.11 – NAF and variables names

NAF	Official names	Variable names
10	Manufacture of food products	Food
11	Manufacture of beverages	Beverages
12	Manufacture of tobacco products	Tobacco products
13	Manufacture of textiles	Textiles
16	Manufacture of wood and of products of wood and cork, except furniture ; manufacture of articles of straw and plaiting materials	Wood and cork products
17	Manufacture of paper and paper products	Paper
19	Manufacture of coke and refined petroleum products	Coking and refining
20	Manufacture of chemicals and chemical products	Chemicals
21	Manufacture of basic pharmaceutical products and pharmaceutical preparations	Pharmaceutical industry
22	Manufacture of rubber and plastic products	Rubber and plastic
23	Manufacture of other non-metallic mineral products	Minerals
24	Manufacture of basic metals	Basic metals
25	Manufacture of fabricated metal products, except machinery and equipment	Fabricated metal products
26	Manufacture of computer, electronic and optical products	Computer electronic optical
27	Manufacture of electrical equipment	Electrical equipment
28	Manufacture of machinery and equipment n.e.c.	Machinery
29	Manufacture of motor vehicles, trailers and semi-trailers	Automotive
30	Manufacture of other transport equipment	Other transport equipment
31	Manufacture of furniture	Furniture

n.e.c : not elsewhere classified

TABLEAU 3.12 – Probit estimates of the propensity score of being treated

NAF	Marginal effects	Standard errors
Age	0.0001**	(0.00003)
Subsidiaries	0.002***	(0.0001)
Domestic	0.045***	(0.001)
10 Food	0.176***	(0.010)
11 Beverages	0.201***	(0.010)
12 Tobacco products	0.200***	(0.025)
13 Textiles	0.204***	(0.010)
16 Wood and cork products	0.185***	(0.010)
17 Paper	0.088***	(0.010)
20 Chemicals	0.142***	(0.010)
21 Pharmaceutical industry	0.202***	(0.010)
22 Rubber and plastic	0.205***	(0.010)
23 Minerals	0.101***	(0.010)
24 Basic metals	0.137***	(0.010)
25 Fabricated metal products	0.230***	(0.016)
26 Computer, electronic and optical	0.204***	(0.011)
27 Electrical equipment	0.202***	(0.010)
28 Machinery	0.217***	(0.010)
29 Automotive	0.178***	(0.010)
30 Other transport equipment	0.189***	(0.010)
31 Furniture	0.198***	(0.010)
Constant	0.236***	(0.010)
Observations	138,736	
Pseudo R2	0.357	

Note :

*p<0.1 ; **p<0.05 ; ***p<0.01

The reference categories are the Coking and refining sector and firms operating on international markets

TABLEAU 3.13 – Means after adjustment – 1 NN

NAF	Variables	Non-ETS	ETS	T-test p-value
	Age	38.62	37.71	0.02
	Subsidiaries	0.34	0.46	0.00
	Domestic	0.46	0.44	0.01
10	Food	0.19	0.21	0.01
11	Beverages	0.02	0.02	1.00
12	Tobacco products	0.00	0.01	0.04
13	Textiles	0.01	0.01	0.23
16	Wood and cork products	0.03	0.03	1.00
17	Paper	0.19	0.18	0.32
19	Coking and refining	0.02	0.02	0.31
20	Chemicals	0.17	0.17	0.73
21	Pharmaceutical industry	0.02	0.01	0.04
22	Rubber and plastic	0.01	0.02	0.00
23	Minerals	0.20	0.19	0.10
24	Basic metal	0.08	0.07	0.05
25	Fabricated metal products	0.00	0.00	0.00
26	Computer electronic optical	0.00	0.01	0.04
27	Electrical equipment	0.01	0.01	0.17
28	Machinery	0.01	0.01	1.00
29	Automotive	0.04	0.05	0.05
30	Other transport equipment	0.01	0.02	0.27
31	Furniture	0.01	0.01	1.00

TABLEAU 3.14 – Means after adjustment – calliper 0.05

NAF	Variables	Non-ETS	ETS	T-test p-value
	Age	37.97	37.63	0.37
	Subsidiaries	0.33	0.45	0.00
	Domestic	0.47	0.44	0.00
10	Food	0.19	0.21	0.02
11	Beverages	0.02	0.02	1.00
12	Tobacco products	0.00	0.00	0.00
13	Textiles	0.01	0.01	0.23
16	Wood and cork products	0.03	0.03	1.00
17	Paper	0.19	0.18	0.50
19	Coking and refining	0.01	0.01	0.17
20	Chemicals	0.17	0.17	1.00
21	Pharmaceutical industry	0.02	0.01	0.04
22	Rubber and plastic	0.01	0.02	0.00
23	Minerals	0.20	0.18	0.05
24	Basic metals	0.08	0.07	0.05
25	Fabricated metal products			
26	Computer electronic optical	0.00	0.01	0.04
27	Electrical equipment	0.01	0.01	0.17
28	Machinery	0.01	0.01	1.00
29	Automotive	0.04	0.05	0.05
30	Other transport equipment	0.01	0.02	0.27
31	Furniture	0.01	0.01	1.00

TABLEAU 3.15 – Means after adjustment – IPW

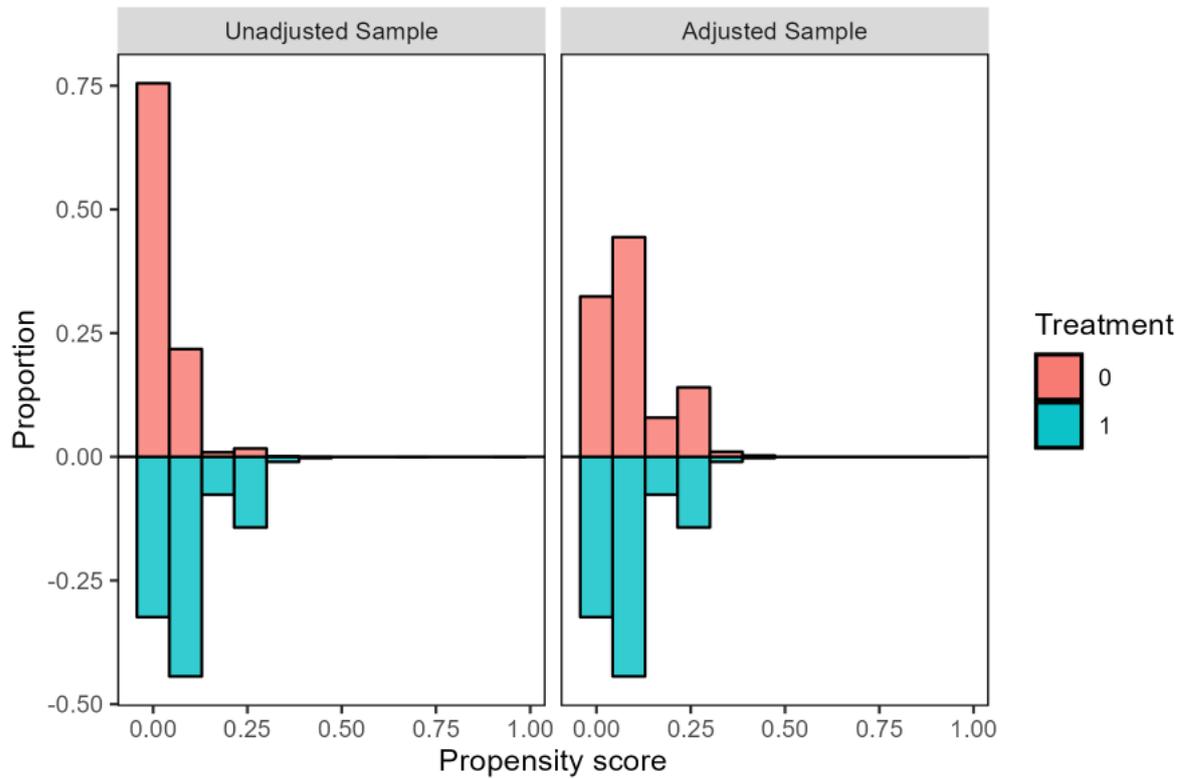
NAF	Variables	Non-ETS	ETS	T-test p-value
	Age	37.96	37.71	0.37
	Subsidiaries	0.46	0.46	0.92
	Domestic	0.44	0.44	0.97
10	Food	0.20	0.21	0.72
11	Beverages	0.02	0.02	0.91
12	Tobacco products	0.00	0.01	0.36
13	Textiles	0.01	0.01	1.00
16	Wood and cork products	0.03	0.03	0.97
17	Paper	0.18	0.18	0.56
19	Coking and refining products	0.02	0.02	0.35
20	Chemicals	0.17	0.17	0.51
21	Pharmaceutical industry	0.01	0.01	0.95
22	Rubber and plastic	0.02	0.02	0.94
23	Minerals	0.19	0.19	0.89
24	Basic metals	0.07	0.07	0.87
25	Fabricated metal products	0.00	0.00	0.96
26	Computer electronic optical	0.01	0.01	0.99
27	Electrical equipment	0.01	0.01	0.99
28	Machinery	0.01	0.01	0.99
29	Automotive	0.05	0.05	0.60
30	Other transport equipment	0.02	0.02	0.91
31	Furniture	0.01	0.01	0.98

TABLEAU 3.16 – Impact of the EU ETS by emission quota quartile (1 Nearest Neighbour)

	<i>Variable Dépendante</i>				
	Capital structure				
	Q1	Q2	Q3	Q4	Total
ATT	0.234*** (0.915)	0.275*** (0.113)	0.174*** (0.083)	0.106* (0.073)	0.124** (0.058)
Robust standard errors	YES	YES	YES	YES	YES
Year fixed effects	YES	YES	YES	YES	YES
Individual fixed effects	YES	YES	YES	YES	YES
Observations	1,899	1,891	1,867	1998	4,256

Note :

*p<0.1 ; **p<0.05 ; ***p<0.01



GRAPHIQUE 3.3 – Histogram balance of propensity score (1 Nearest Neighbour)

CHAPITRE 4

Impact de la distribution initiale de quotas sur la production

Ce chapitre a été co-écrit avec Pr. Pascale COMBES-MOTEL (LEO-UCA) et Pr. Sonia SCHWARTZ (LEO-UCA)

Ce chapitre analyse le lien entre la distribution initiale des quotas du Système d'Échange de Quotas d'Émissions de gaz à effet de serre de l'Union européenne (SEQE-UE) et le niveau de production des entreprises françaises. Pour ce faire, nous construisons une base de données liant les caractéristiques financières des entreprises aux données du SEQE sur la période 2007-2018. Ayant recours à une fonction Translog et utilisant la méthode des effets fixes, nous montrons que globalement, le niveau de production des entreprises est positivement lié à la distribution initiale de quotas. Nous menons ensuite une analyse d'hétérogénéité. Ce résultat général est corroboré pour les entreprises qui reçoivent le moins de quotas et celles qui sont dans une position d'achat. Il concerne les entreprises intervenant sur un marché national et il est significatif pour les entreprises appartenant au secteur de l'alimentaire, des minéraux et de la métallurgie. Cette étude remet donc en cause le résultat de [Montgomery \(1972\)](#) alors même que la dotation initiale des quotas est exogène et que le SEQE semble fonctionner de façon concurrentielle. Nos résultats suggèrent que les entreprises n'effectuent pas d'arbitrage statique, posant la question de l'efficacité du SEQE à réaliser les réductions d'émission à moindre coûts.

Keywords : Fonction de production, marché de quotas, SEQE, entreprises

Keywords : C33, G32, Q58, Q53, D22

4.1 Introduction

Depuis le programme Acid Rain aux Etats Unis, les marchés de quotas de pollution sont de plus en plus utilisés pour internaliser des externalités négatives. Concernant la lutte contre le réchauffement climatique, on peut citer the Regional Greenhouse Gas Initiative aux Etats Unis ou encore le système de quotas d'émission de l'Union Européenne (SEQE UE) . Lancé en 2005, il s'applique à plus de 11 000 installations fixes et couvre près de 45% des émissions de gaz à effet de serre de l'Union Européenne. Initialement mis en œuvre pour faciliter l'atteinte de l'engagement de l'Union européenne au titre du Protocole de Kyoto ([Commission Européenne, 2003](#)), le SEQE a été ensuite pérennisé. Ce marché fait partie intégrante de la lutte contre le réchauffement climatique et est un outil important pour réaliser les objectifs du Pacte Vert pour l'Europe. Ce dernier ambitionne d'atteindre la neutralité carbone en 2050 et prévoit de réduire les émissions nettes d'au moins 55 % en 2030 par rapport à 1990.

Depuis [Crocker \(1966\)](#) et [Dales \(1968\)](#), les principes d'un marché de quotas de pollution sont bien établis. Il s'agit de définir le niveau optimal de pollution puis de le fractionner sous forme de quotas. Lors du marché primaire, les pouvoirs publics procèdent à la distribution initiale de quotas aux agents participants. Ces quotas sont ensuite transférables sur un marché secondaire. L'échange de quotas permet d'obtenir des réductions de la pollution à moindre coût ([Montgomery, 1972](#)). Les marchés de quotas sont ainsi plus attractifs que les normes environnementales, notamment en présence d'asymétrie d'information sur les coûts de réduction des émissions.

Ces marchés présentent un autre avantage. [Montgomery \(1972\)](#) montre que les réductions d'émissions choisies par les entreprises sont indépendantes de la distribution initiale des quotas. Ce résultat est obtenu dans un cadre simple de concurrence parfaite et postule une dotation initiale des quotas forfaitaire. Lorsque ces hypothèses sont satisfaites, les marchés de quotas deviennent un outil très attractif pour les pouvoirs publics qui vont pouvoir distribuer les quotas selon leur objectif - obtenir ou non un revenu - ou leur sens de l'équité, et ce sans affecter l'efficacité du marché.

Il existe plusieurs types de distribution initiale gratuite des quotas ([Schwartz, 2009](#)). En théorie, n'importe quelle règle d'attribution des quotas peut être utilisée par le régulateur. La littérature économique retient toutefois deux grandes familles d'allocation initiale gratuite, selon qu'elle modifie ou non le comportement des

entreprises.

Dans le premier cas, on retrouve les distributions basées sur les émissions passées. Très souvent évoqué dans la littérature, le « grandfathering » présente deux avantages. En lissant le passage d'une situation sans régulation environnementale à une situation où les émissions polluantes sont payantes, il est supposé faciliter l'acceptabilité de la politique par les entreprises. Par ailleurs, les entreprises ne pouvant pas modifier leurs données historiques d'émissions, ce type d'allocation représente une allocation forfaitaire et est donc exogène aux entreprises. Les pouvoirs publics peuvent également retenir le critère des capacités de production des entreprises, sans référence au niveau de production courant. Cette règle devrait aussi s'apparenter à un transfert forfaitaire. Lorsque les quotas sont distribués en fonction des émissions passées ou des capacités de production, le résultat de Montgomery devrait s'appliquer. L'allocation finale des quotas ou, par extension, le niveau de production choisie par l'entreprise, ne devrait pas dépendre du montant de quotas reçu initialement.

Une distribution basée sur le niveau de production courant ou en fonction des inputs actuellement utilisés illustre le second cas. L'allocation de quotas est alors considérée comme une subvention à la production (Fischer and Fox, 2004). Elle devrait ainsi modifier le choix de production des entreprises entraînant de fait des inefficacités productives lorsque les entreprises adoptent un comportement concurrentiel sur le marché.

En pratique, les pouvoirs publics ont eu recours à divers critères lorsqu'ils ont fait le choix d'une distribution gratuite. Le programme RECLAIM, dont l'objectif est de réduire les émissions de NOx¹, a distribué les quotas notamment en prenant en compte les valeurs historiques des émissions de l'entreprise. Les installations qui ferment continuent à bénéficier de quotas gratuits et les nouveaux entrants doivent se procurer des quotas sur le marché. Le programme Acid Rain a choisi essentiellement le critère des émissions passées tout comme le marché européen du carbone pour ses deux premières phases. Concernant la phase 3 et 4, le SEQE a retenu le critère de référentiels de performance d'émission dit « benchmark ». Plus exactement, les installations reçoivent un nombre de quotas égal à une référence d'émissions de gaz à effet de serre définie pour chaque bien, multiplié par un niveau d'activité représenté par les niveaux de productions historiques. Dans tous les cas, ce sont des modes d'allocations considérés comme exogènes à l'entreprise.

1. Oxydes d'azote

La littérature économique théorique a exploré plusieurs hypothèses qui conduisent à remettre en cause le résultat de Montgomery. Elle est plutôt bien documentée sur la question (Schwartz, 2006; Hintermann, 2011). La prise en compte de pouvoir de marché est étudiée, entre autres, par Hahn (1984a) et Westskog (1996) dans un cadre statique et Hagem and Westskog (1998) dans un cadre dynamique. Sartzetakis (1994, 1997a,b), Schwartz (2007), Bueb and Schwartz (2009, 2011) considèrent des possibilités de manipulation du marché des quotas à des fins stratégiques sur le marché des biens. Stavins (1995) introduit les coûts de transactions et Montero (1998) l'incertitude sur les conditions d'échange.

Pourtant, peu d'études économétriques se sont intéressées à l'impact de la distribution initiale des quotas sur les décisions des entreprises. Nous pouvons citer Fowle and Perloff (2013) qui étudient si les émissions des entreprises dépendent de l'allocation initiale des quotas dans le cadre du programme RECLAIM. Ils corroborent économétriquement le résultat de Montgomery. Les autres études concernent le marché européen du carbone. Utilisant un échantillon d'entreprises européennes, Abrell et al. (2011) montrent que les émissions finales dépendent de la distribution initiale des quotas dans la phase 1 et le début de la phase 2. Cependant, une étude portant sur le secteur de l'énergie ne remet pas en cause l'indépendance entre l'allocation initiale et les émissions entre 2008 et 2014 (Zaklan, 2023). Ellerman and Buchner (2008) examinent la relation entre la dotation initiale des entreprises du SEQE et leurs décisions de production dans le secteur du charbon en Espagne. Ils montrent que l'allocation initiale n'a pas d'effet significatif sur les niveaux de production. Cependant, elle ne prend pas en compte les caractéristiques financières des entreprises et ne permet pas de tirer des conclusions sur le comportement des entreprises pour les phases ultérieures du SEQE, car l'étude se limite à l'année 2006. A notre connaissance, aucune étude n'a cherché à tester empiriquement l'impact de la distribution initiale des quotas sur le niveau de production des entreprises manufacturières françaises appartenant au SEQE.

Selon Meunier et al. (2014), une distribution des quotas basée sur les capacités de production est exogène aux choix des entreprises. Par ailleurs, aucune étude n'a suspecté de fonctionnement imparfaitement concurrentiel du SEQE. Dans ce cas, on pourrait s'attendre à ce que le niveau de production des entreprises soumises au SEQE ne dépende pas des allocations de quotas carbone distribués.

Afin de tester cette hypothèse, nous construisons une base de données liant les informations environnementales des entreprises à celles concernant le processus

productif. Le premier type d'information nous est donné par le Journal des Transactions de l'Union Européenne (European Union Transaction Log ou EUTL) et le second par DIANE. Nous obtenons ainsi une base de données regroupant 392 entreprises françaises appartenant au secteur manufacturier soumis au marché européen du carbone. Le secteur manufacturier est le quatrième émetteur de GES en France avec 18% des émissions nationales en 2022 alors qu'il contribuait à hauteur de 27% au début des années 1990 [CITEPA \(2023\)](#). On peut alors se demander si la politique environnementale qui a permis cette diminution a impacté la production des entreprises.

En faisant l'hypothèse d'une fonction de production Translog et en utilisant un estimateur de données de panel, nous montrons que le niveau de production des entreprises de notre échantillon augmente avec la distribution initiale des quotas. Ainsi, le mode de distribution initiale des quotas dans le marché européen n'est pas neutre, et impacte les décisions de production des entreprises manufacturières. Le résultat de Montgomery n'est pas corroboré dans le SEQE, alors même que l'allocation initiale est exogène aux entreprises et que le marché secondaire fonctionne de façon concurrentielle. Nous avons ensuite mené une analyse d'hétérogénéité afin d'identifier des cas où la neutralité apparaissait. Il s'avère que l'allocation des quotas n'impacte pas le choix des entreprises qui ont reçu le plus de dotation initiale, celles se trouvant en excédent de quotas et les entreprises principalement exportatrices. La neutralité apparaît en phase 2 du SEQE contrairement à la phase 3 et concerne les entreprises du secteur de l'automobile et du papier. Contrairement à ([Montgomery, 1972](#)), nos résultats suggèrent que les entreprises ne réalisent pas d'arbitrage statique pour déterminer leur quantité optimale de pollution et donc de quotas. Le coût d'opportunité du quota n'est pas pris en compte dans le calcul économique des entreprises. Notre étude remet donc en question l'efficacité économique du SEQE.

Le chapitre est structuré de la façon suivante. La section [4.2](#) présente le marché européen du carbone et ses modes de distribution initiale des quotas. La section [4.3](#) présente la base de données et les statistiques descriptives. La section [4.4](#) décrit la méthodologie empirique et les sections [4.5-4.6](#) donnent les résultats. Nous concluons dans la section [4.7](#).

4.2 SEQE-UE et distribution initiale des quotas

Cette section décrit la couverture du SEQE et la distribution initiale des quotas dans ses quatre phases de mise en oeuvre.

A l'issue du protocole de Kyoto en 1997, l'Union Européenne s'est engagée à réduire ses émissions de dioxyde de carbone de 8 % par rapport aux niveaux atteints en 1990 et ce, sur la période 2008-2012. Afin d'atteindre cet objectif, elle adopte en 2003 la directive 2003/87/CE, dite Directive quotas qui définit le cadre législatif du marché européen du carbone. Lorsque le SEQE est instauré en 2005, 27 pays de l'Union Européenne sont concernés, et sont ensuite rejoints par la Norvège, l'Islande et le Liechtenstein en 2008 puis la Croatie en 2013 ([Parlement Européen, 2018](#)). Ce marché concerne environ 11500 installations soit deux milliards de tonnes de dioxyde de carbone au moment de sa création ([Ellerman and Buchner, 2007](#)).

Le SEQE comprend à ce jour 4 phases, qui diffèrent principalement en fonction de la couverture et des règles d'allocations initiales des quotas. Ces dernières sont décrites ci-dessous, afin d'analyser ensuite le lien entre la distribution initiale des quotas et le niveau de production des entreprises. Si les deux premières phases ont retenu le critère d'allocation du grandfathering, les deux dernières ont eu recours à des référentiels de performance d'émission dit « benchmark ». D'après la littérature, ces deux mécanismes d'allocation sont exogènes aux entreprises.

4.2.1 Phase 1 et Phase 2

Durant la phase 1 [2005-2008] et la phase 2 [2008-2012], les quotas sont essentiellement distribués gratuitement aux installations, même si un total de 5% des quotas pouvait être mis aux enchères dans la phase 1 et 10% dans la phase 2. Les États membres avaient en charge la définition de leur Plan National d'Allocation des Quotas (PNAQ), qui liste les quotas octroyés gratuitement à chaque entreprise. La répartition des quotas gratuits s'est faite en deux étapes. Tout d'abord, ils ont été distribués au niveau des secteurs puis au niveau des installations ([Hanoteau, 2014](#)). Durant la phase 1, les quotas ont tout d'abord été attribués aux secteurs en fonction de la réduction d'émissions entre 1990-2002, leur potentiel de réduction et des projections d'émissions pour 2001-2006. Finalement, les quotas ont été distribués aux entreprises selon leurs émissions passées en 2000-2002 et leur part d'émissions dans le secteur.

Concernant la phase 2, les quotas ont été accordés aux secteurs sur la base d'une combinaison de critères : les émissions historiques, une référence moyenne, les

prévisions de croissance des émissions et le potentiel de réduction. Certains pays ont retenu la moyenne des émissions sur la période 2002-2005 tandis que d'autres ont retenu la période 1998-2001. Ensuite, la répartition au sein d'un secteur au niveau des entreprises s'est effectuée sur la base des émissions passées de l'entreprise, retenant généralement la période 2004-2005. Dans la phase 1 et 2, une réserve de quotas gratuits est mise en place pour les installations existantes et les extensions de capacités.

4.2.2 Phase 3

Les PNAQ des phases 1 et 2 se sont avérés très hétérogènes d'un Etat membre à un autre. C'est pourquoi, la directive révisée de 2009 ([Commission Européenne, 2009](#)) introduit de nouvelles règles harmonisées d'allocation des quotas à partir de la phase 3 [2013-2020]. La mise aux enchères devient la règle principale. Toutefois, des exemptions de quotas gratuits ont été faites afin de prévenir le risque de fuite de carbone. L'objectif est d'arriver à 30% de quotas gratuits en 2023 contre 80% en 2013 et 100% des quotas mis aux enchères en 2030.

Pour les installations non exposées à un risque important de fuite de carbone, la nouvelle règle d'affectation des quotas gratuits est donnée par la formule suivante, qui comprend quatre termes :

$$\text{Allocation de quotas gratuits vers une sous - installation} = \text{BM} \times \text{HAL} \times \text{CLEF} \times \text{CSCF} | \text{LRF} \quad (4.1)$$

Avec (*BM*) qui correspond à la valeur du référentiel, qui est la grande nouveauté de la phase 3. Il est basé sur l'intensité carbone des 10% des installations les plus efficaces en matière d'émissions sur la période 2007-2009 pour la production d'un produit donné de l'Union . Ces référentiels – ou benchmarks – sont exprimés en tonnes de dioxyde de carbone par tonne de produit fabriqué. Il existe 52 produits dans l'UE. Le second terme correspond aux données historiques de production d'une installation donnée (*HAL*). Elles sont représentées par la valeur médiane de la production des années 2005-2008 ou 2009-2010 (le plus élevé des 2). Un facteur de prévision de production est également pris en compte. Le troisième terme - le facteur d'exposition au risque de fuite du carbone (*CLEF*) - est déterminé par la Directive Européenne pour chaque année entre 2013 et 2020. L'objectif était d'atteindre, en 2020, une allocation de quotas gratuits pour ces installations et

sous-installations de seulement 30% du référentiel par rapport à 80% du référentiel en 2013 (tableau 4.1).

La directive quotas 2003/87/CE (modifiée) (Commission Européenne, 2011) fixe la quantité annuelle maximale de quotas alloués à titre gratuit comme devant être inférieure à 43% du plafond d'émission défini par la Commission (article 10 bis, paragraphe 5). Si la somme des quantités annuelles des demandes de quotas gratuits soumises par les États participant dépasse cette limite, un facteur annuel de correction trans-sectoriel (cross-sectoral correction factor ou *CSCF*) devrait s'appliquer. Le *CSCF* est appliqué de manière uniforme à l'ensemble des installations pouvant bénéficier de quotas alloués à titre gratuit, pour réduire l'allocation à titre gratuit en Europe, et ramener cette part en dessous de 43% du plafond d'émission. Sinon, le facteur de réducteur linéaire (*LRF*) de 1,74% s'applique pour la phase 3.

Au final, la combinaison des quatre termes donne l'allocation de quotas gratuits pour une sous-installation en place. Il existe toutefois des exceptions à cette règle. Tout d'abord, une liste de secteurs dits « exposés » aux risques de fuite de carbone a été élaborée en 2009 pour la phase 3 et en 2019 pour la phase 4. Pour ces installations, le niveau d'allocation gratuite par rapport au benchmark demeure égal à 100% durant ces deux phases.

Ensuite, les entreprises qui stoppent leur production ne reçoivent plus de quotas et une entreprise qui réduit son activité de moins de 50% continuera de recevoir la totalité de ses quotas gratuitement. Enfin, une disposition est prévue pour les installations dites nouvelles, qui incluent des extensions de capacités dans les installations existantes. Ces installations pourront bénéficier d'une réserve de quotas gratuits. Les investissements induisant des extensions significatives de capacité permettent d'accéder à cette réserve à condition de respecter les conditions suivantes : Le seuil qui détermine une modification significative de la capacité est fixé à 10% de la capacité installée, et le niveau d'activité doit être sensiblement différent. Notamment, le niveau d'activité supérieur doit entraîner plus de 50000 quotas par an, représentant au moins 5% du nombre annuel provisoire de l'installation. Au final, la quantité de quotas gratuits octroyée aux nouveaux entrants est obtenue en multipliant le benchmark par la capacité d'installation - ou l'augmentation de la capacité - et un facteur d'utilisation des capacités. Le facteur linéaire de 1,74 % s'applique généralement aux nouveaux entrants, aux modifications significatives de capacité et aux cessations partielles d'activité avec une exception pour les

installations subissant une réduction significative de capacité. Cette réserve est attribuée en fonction de la règle du service séquentiel.

TABLEAU 4.1 – Valeur du CLEF de 2013 à 2020 dans le SEQE

Année	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Valeur	0.80	0.73	0.66	0.59	0.51	0.44	0.37	0.30

Source : Directive 2009/29/EC

4.2.3 Phase 4

La directive quotas a été modifiée en 2018 par la directive (UE) 2018/410 ([Parlement Européen, 2018](#)) pour mettre en place la quatrième phase du SEQE-UE sur la période 2021-2030. Cette dernière est divisée en deux sous-périodes d'allocation : 2021-2025 et 2026-2030. Les grands principes introduits dans la phase 3 sont inchangés, notamment le périmètre des installations assujetties. La règle d'allocation initiale reste basée sur la combinaison des quatre termes mentionnés plus haut, même si leur définition peut changer.

Les valeurs des référentiels seront mises à jour deux fois, sur la base des données 2016-2017 et 2021-2022. Par ailleurs, les allocations sont basées sur la moyenne des niveaux d'activité calculées annuellement et non plus sur la médiane. Le facteur de correction trans-sectoriel (*CSCF*) pour 2021 à 2025 est fixé à 100%, la somme des allocations provisoires en Europe ne dépassant pas la limite de 43% du plafond d'émission pour chacune des années. Concernant le facteur de réduction linéaire (*LRF*), il s'établira à 2,2 % à partir de 2021, permettant ainsi de davantage réduire la part de quotas gratuits.

Les secteurs exposés se verront appliquer un facteur d'exposition au risque de fuite de carbone (*CLEF*) égal à 1 durant toute cette quatrième phase. Un secteur non exposé se verra attribuer un *CLEF* de 0,3 de 2021 à 2026, de 0,225 en 2027, de 0,150 en 2028, de 0,075 en 2029 et de 0 en 2030 (tableau 4.2).

TABLEAU 4.2 – Valeur du CLEF de 2021 à 2030 dans le SEQE

Année	[2021-2026]	2027	2028	2029	2030
Valeur	0.3	0,225	0,150	0,075	0

Source : Directive (UE) 2018/410

Les principaux changements par rapport à la phase 3 concernent les dotations pour les nouvelles installations ou les augmentations de capacité. Pour les nouveaux entrants, le niveau d'activité n'est plus basé sur les 3 mois d'activité suivant la date de début d'exploitation normale mais sur l'année civile complète qui suit l'année du début d'exploitation. La notion de modification significative de capacité n'existe plus en phase 4, étant remplacé par le principe « d'allocation dynamique ». L'ajustement annuel des allocations est mis en place, afin de tenir compte des augmentations et baisses de production sur la base d'un dépassement de seuil de plus ou moins 15% du niveau d'activité d'une sous-installation.

4.3 Données

L'objectif de ce chapitre est d'étudier si la distribution initiale des quotas a un impact sur le niveau de production des entreprises françaises soumises au SEQE. Pour ce faire, nous construisons une base de données qui combine deux sources différentes. Nous obtenons les informations concernant les caractéristiques financières des entreprises françaises à partir de la base de données DIANE. Les données sur les allocations de quotas des entreprises soumises au SEQE proviennent du journal des transactions de l'Union européenne (European Union Transaction Log ou EUTL).

Les entreprises étant difficilement identifiables, nous suivons [Jaraité et al. \(2014\)](#) en faisant correspondre chaque entreprise à un numéro SIREN unique. Cela permet de mieux identifier les unités de production et d'établir des correspondances avec la base de données DIANE. Nous considérons au final les entreprises du secteur manufacturier français qui correspond à la section C selon la nomenclature NAF, contenant les secteurs 10 à 37. La période considérée est 2007-2018, couvrant ainsi les trois premières phases du SEQE.

Nous excluons de notre échantillon les entreprises ayant bénéficié d'une extension de capacité. Dans ce cas, conformément aux règles d'affectation de quotas, les quotas supplémentaires octroyés aux entreprises sont liés au niveau de production courant. Cette dotation corrélée à l'activité récente pourrait entraîner un problème d'endogénéité. Afin de contrôler ce biais, nous supprimons 16 entreprises concernées par le dispositif. Au final, notre échantillon est composé de 376 entreprises françaises. Dans le tableau 4.3, nous indiquons le nombre d'entreprises par secteur.

Outre la quantité de quotas allouée aux entreprises (Allocations) et les émissions vérifiées (Emissions) mesurées en tonnes éq CO₂, la base de données comprend les

informations suivantes concernant les caractéristiques financières des entreprises. La variable *Production* représente la production de l'exercice c'est-à-dire valeur de la production annuelle totale d'une entreprise. La variable *Salaires* représente les salaires et traitements que nous utilisons pour mesurer la quantité de travail intégrée dans le processus de production des entreprises. Les salaires et traitements font référence aux rémunérations versées aux employés, incluant les salaires, les bonus, les avantages sociaux (chèques vacances, tickets restaurant) et autres formes de rémunération. La variable *Capitaux* représente les capitaux propres. Il s'agit de l'argent investi par les actionnaires ou les propriétaires de l'entreprise. Ils peuvent être considérés comme une mesure de la santé financière d'une entreprise et de sa capacité à investir dans de nouveaux projets. La variable *Actif immobilisé net* est un indicateur financier qui mesure la valeur des actifs immobilisés d'une entreprise, après déduction de l'amortissement accumulé et des provisions pour dépréciation. Ce sont des actifs détenus par l'entreprise pour soutenir sa croissance à long terme. Ces actifs sont les bâtiments, les équipements, les brevets ou les investissements dans d'autres entreprises. Nous ajoutons la variable *Immobilisations corporelles nettes* qui représente spécifiquement les biens tangibles tels que les bâtiments, les équipements, les machines, les véhicules ou les terrains qui sont détenus par l'entreprise pour une utilisation à long terme dans le cadre de son activité. Les actifs immobilisés et les immobilisations corporelles sont deux variables importantes pour les investisseurs, les analystes financiers et les prêteurs, car elles permettent d'avoir une indication de la valeur des actifs de l'entreprise qui sont utilisés pour générer des revenus. Elles peuvent également être utilisées pour évaluer la capacité de l'entreprise à rembourser ses dettes à long terme et sa solidité financière globale.

Les statistiques descriptives de ces différentes variables sont indiquées dans le tableau 4.4. Sur les 376 entreprises de notre échantillon, 165 évoluent sur le marché domestique et 211 sur un marché international. Ces chiffres pourraient suggérer que les entreprises françaises sont très dynamiques sur le marché international. Toutefois, les entreprises soumises au SEQE sont celles ayant atteint un certain seuil de capacité thermique. On peut donc penser que ce critère d'inclusion conduit à sélectionner des entreprises d'une certaine taille, qui seraient donc les plus à même à évoluer sur un marché international.

Nous remarquons également que la moyenne des allocations de quotas est supérieure à celle des émissions vérifiées. Globalement, les entreprises de notre échantillon reçoivent donc un surplus d'allocation par rapport aux émissions effectives. Plus précisément, en calculant la différence entre les allocations initiales et les émissions

vérifiées, 64 entreprises sont en déficit en 2008 (début de la phase 2), mais ce nombre passe à 168 en 2013 c'est-à-dire au début de phase 3. Le nombre d'entreprises ayant bénéficié d'un surplus d'allocations diminue donc avec le temps. Nous prendrons en compte cette hétérogénéité dans la distribution initiale des quotas et dans le marché d'intervention afin de déterminer l'impact de la distribution initiale des quotas sur le niveau de production des entreprises.

Nous retenons, pour la suite de notre étude, les six secteurs qui contiennent un nombre d'entreprises supérieur à 15, soit le secteur de l'industrie alimentaire (NAF10), l'industrie du papier et du carton (NAF 17), l'industrie chimique (NAF 20), la fabrication d'autres produits minéraux non métalliques (NAF 23), l'industrie métallurgique (NAF 23) et l'industrie automobile (NAF 29).

4.4 Étude économétrique

Afin d'étudier la relation entre l'allocation initiale des quotas et la production des entreprises, nous estimons une fonction de production en utilisant un estimateur de données de panel. La relation entre les inputs et la production peut être de type Cobb-Douglas. Cette relation impose cependant la restriction selon laquelle les élasticités de substitution des facteurs de production sont constantes. Nous avons opté pour une forme fonctionnelle flexible, à savoir la fonction Translog (Christensen et al., 1973). Le modèle économétrique est le suivant :

$$\begin{aligned}
 Y_{it} = & \beta_0 + \beta_1 \log(Allocations_{it}) + \beta_2 \log(Salaires_{it}) + \beta_3 \log(Capital_{it}) \\
 & + \beta_4 \log(Salaires_{it})^2 + \beta_5 \log(Capital_{it})^2 + \beta_6 \log(Salaires_{it}) \times \log(Capital_{it}) \\
 & + X_{it} + \eta_i + \mu_t + \nu_{it}
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

Y_{it} représente la production de l'entreprise i à l'année t . $Allocations$ est notre variable d'intérêt qui indique la quantité initiale de quotas reçue par l'entreprise. $Salaires$ indique les salaires et traitements reçus par les employés. Cette variable sert à mesurer le travail et la main d'œuvre disponible pour la production. $Capital$ représente l'ensemble des capitaux propres de l'entreprise. X_{it} est un vecteur de variables de contrôle financières, comprenant les actifs immobilisés et les immobilisations corporelles nettes reportées dans le tableau 4.4. Les effets fixes η_i capturent les caractéristiques des entreprises ou des secteurs qui ne varient pas

TABLEAU 4.3 – Nombre d'entreprises par secteur

Code NAF	Secteur	N
10	Industries alimentaires	77
11	Fabrication de boissons	6
12	Fabrication de produits à base de tabac	2
13	Fabrication de textiles	4
16	Travail du bois et fabrication d'articles en bois et en liège	10
17	Industrie du papier et du carton	69
19	Cokéfaction et raffinage	6
20	Industrie chimique	59
21	Industrie pharmaceutique	5
22	Fabrication de produits en caoutchouc et en plastique	9
23	Fabrication d'autres produits minéraux non métalliques	69
24	Métallurgie	26
26	Fabrication de produits informatiques, électroniques et optiques	3
27	Fabrication d'équipements électriques	2
28	Fabrication de machines et équipements n.c.a.	3
29	Industrie automobile	18
30	Fabrication d'autres matériels de transport	6
31	Fabrication de meubles	2

n.c.a : Non classé ailleurs

TABLEAU 4.4 – Statistiques descriptives

Variabes	Moyenne	Ecart-type	Nombre d'entreprises
Production (Milliers d'euros)	576275.5	3316144	376
Allocations (Tonnes éq CO2)	96227.44	457226.2	376
Émissions vérifiées (Tonnes éq CO2)	90107.94	452267.4	376
Salaires (Milliers d'euros)	38379.59	121967.2	376
Capitaux (Milliers d'euros)	128507.2	429294.5	376
Actif immobilisé net (Milliers d'euros)	207467.8	799706.6	376
Immobilisations corporelles nettes (Milliers d'euros)	115978.3	371963.3	376
Marché National	-	-	165
Marché international	-	-	211
Déficit d'allocations (2008)	-	-	64
Déficit d'allocations (2013)	-	-	168

dans le temps comme le secteur d'activité ou la localisation. μ_t permet de prendre en compte les caractéristiques des entreprises qui varient avec le temps, mais qui affectent toutes les entreprises à la fois comme le prix du quota ou l'environnement macroéconomique national et ν_{it} est la partie idiosyncratique du terme d'erreur.

4.5 Résultats

Dans le tableau 4.5, nous indiquons les résultats de l'effet du niveau d'allocation initiale des quotas sur le niveau de production des entreprises françaises. Nous utilisons la méthode des effets fixes, en recourant à une fonction de production Translog augmentée des variables de contrôle X_{it} . Nous présentons les résultats selon différentes combinaisons d'effets fixes. Dans les trois premières colonnes, nous présentons les résultats obtenus avec les effets fixes entreprises. Nous reportons les résultats avec des effets fixes secteur dans les trois dernières colonnes.

Nos résultats sont robustes à l'introduction de différents effets fixes. Quelles que soient nos spécifications, nous obtenons un coefficient positif pour notre variable d'intérêt. Le niveau de production des entreprises de notre échantillon augmente avec la dotation initiale de quotas octroyée dans le cadre du marché européen du carbone. Plus précisément, une augmentation des allocations de 1% entraîne une augmentation de la production entre 0.011% et 0.014%.

TABLEAU 4.5 – Effet de l'allocation sur la production

	<i>Variable dépendante :</i>					
	log(Production)					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
log(Allocations)	0.013** (0.005)	0.011** (0.006)	0.012** (0.006)	0.016*** (0.005)	0.014*** (0.005)	0.014*** (0.005)
log(Salaires)	0.435*** (0.048)	0.440*** (0.048)	0.441*** (0.048)	0.655*** (0.038)	0.659*** (0.038)	0.657*** (0.038)
log(Salaires) ²	-0.008 (0.010)	-0.008 (0.010)	-0.008 (0.010)	-0.012 (0.009)	-0.012 (0.009)	-0.012 (0.009)
log(Capital)	-0.066 (0.174)	-0.058 (0.175)	-0.059 (0.175)	0.513*** (0.154)	0.530*** (0.154)	0.522*** (0.154)
log(Capital) ²	0.029** (0.012)	0.029** (0.012)	0.029** (0.012)	0.042*** (0.011)	0.042*** (0.011)	0.041*** (0.011)
log(Capital) x log(Salaires)	-0.004 (0.003)	-0.004 (0.003)	-0.004 (0.003)	-0.008*** (0.002)	-0.008*** (0.002)	-0.008*** (0.002)
Observations	3212	3212	3212	3212	3212	3212
Effets fixes individus	OUI	OUI	OUI	NON	NON	NON
Effets fixes années	NON	OUI	NON	NON	OUI	NON
Effets fixes secteurs	NON	NON	NON	OUI	OUI	OUI
Effets fixes phase	NON	NON	OUI	NON	NON	OUI
Variables de contrôle	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI

Ecart-types robustes entre parenthèses

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Variables de contrôle : actifs immobilisés et immobilisations corporelles

4.6 Hétérogénéité

Dans cette section, nous menons une analyse d'hétérogénéité afin d'étudier si notre résultat principal diffère en fonction de la dotation initiale de quotas reçue, la phase de mise en œuvre du SEQE, le marché dans lequel intervient l'entreprise et le secteur d'appartenance des entreprises.

4.6.1 Niveau d'allocation initiale des quotas

Notre principal résultat montre qu'en moyenne, le niveau de production des entreprises augmente avec l'allocation initiale des quotas. Toutefois, ce résultat peut être dépendant de la quantité de quotas reçue par l'entreprise. Afin de tester cette hypothèse, nous divisons notre échantillon en quartiles du niveau d'allocation de quotas. Le premier (dernier) quartile contient les entreprises ayant reçu le moins (le plus) d'allocations.

Les résultats sont indiqués dans le tableau 4.6. Nous remarquons que les entreprises des trois premiers quartiles présentent également une relation positive significative entre le niveau d'allocations et la production des entreprises mais celle-ci est décroissante. Les élasticités de la production à la quantité de quotas sont de 0.156, 0.086 et 0.008 respectivement pour le premier, deuxième et troisième quartile. Cette relation n'est plus significative pour les entreprises du quatrième quartile. Nos résultats indiquent donc que l'impact de la dotation initiale des quotas sur le niveau de production est plus important pour les entreprises recevant le moins de quotas. Les entreprises du premier quartile réagissent plus à la dotation initiale que l'ensemble de l'échantillon (0.011 colonne (2) du tableau 4.5 reporté en dernière colonne du tableau 4.6). Il y a neutralité entre la production et la dotation initiale seulement pour les entreprises recevant le plus de quotas.

Ce résultat pourrait suggérer que la plupart des entreprises n'effectuent pas l'arbitrage statique souligné par [Montgomery \(1972\)](#). Elles ne font pas un arbitrage entre le coût marginal de réduction des émissions et le prix du quota pour décider du niveau de réduction. On pourrait penser que la dotation initiale serait prise en compte dans le calcul économique que lorsque le quota est contraignant pour les entreprises, c'est-à-dire potentiellement lorsqu'elles sont en position d'acheteur. Afin de tester cette hypothèse, nous introduisons dans notre analyse les émissions des entreprises afin de déterminer si celles-ci disposent du nombre de quotas nécessaire à leur activité de production.

Nous calculons donc le surplus d'allocations en faisant la différence entre les

allocations reçues d'une entreprise et les émissions vérifiées à la fin de l'année, en supposant que les entreprises sont en conformité. Les entreprises ayant reçu davantage de quotas par rapport à leurs émissions vérifiées sont considérées comme ayant un « surplus » de quotas et un « déficit » dans le cas contraire. Si le déficit de quotas peut être assimilé à un comportement d'achat, un surplus peut être mis en réserve, ne signifiant donc pas forcément un comportement de vendeur.

D'après notre raisonnement, les entreprises ayant reçu un surplus d'allocation seraient plus susceptibles de ne pas considérer leur niveau d'allocations dans leur décision de production. Nous testons cette relation dans le tableau 4.7. Les deux premières colonnes montrent que les entreprises ayant reçu un excès d'allocations ne voient pas leur production impactée par les allocations initiales. Les dernières colonnes considèrent les entreprises en déficit. Dans ce cas, une augmentation des allocations de 1% entraîne une augmentation de la production entre 0.053 et 0.063%. Nous pouvons en déduire que la distribution initiale des quotas a un impact sur les décisions de production des entreprises lorsque celles-ci en reçoivent moins que ce dont elles ont besoin. Les entreprises ne prennent pas en compte le coût d'opportunité du quota dans leur décision. Les entreprises achètent des quotas à des fins de mise en conformité, ce qui explique le lien positif avec le niveau de production. Dans ce cas, la régulation n'est peut-être pas satisfaite au moindre coût.

Ce résultat empirique confirme les conclusions de l'étude de [Venmans \(2016\)](#). En se basant sur des interviews de responsables d'entreprise, l'auteur conclut qu'une allocation gratuite de quotas inférieure aux émissions induit une plus forte incitation à investir dans des technologies de réduction comparé aux allocations supérieures aux émissions. Les responsables d'entreprises expliquent notamment cette divergence par « l'effet dotation » de la distribution gratuite. La valeur des quotas détenus par les entreprises est perçue comme étant plus élevée que l'argent qui pourrait être obtenu de la vente de quotas. Ces travaux font suite aux analyses de [DellaVigna \(2009\)](#) et [Plott and Zeiler \(2005\)](#), qui cherchent à comprendre pourquoi les comportements divergent de ceux prédits par les modèles de choix rationnels. [Venmans \(2016\)](#) note que cet effet dotation conduit à percevoir le SEQE davantage comme une approche de normes plutôt qu'un instrument de marché, ce que confirme également notre étude. Le passage d'une distribution gratuite aux enchères devrait conduire à davantage d'investissements dans les réductions d'émission.

TABLEAU 4.6 – Effet de l'allocation sur la production par quartile d'allocations

	<i>Variable dépendante :</i>				
	log(Production)				
	Q1	Q2	Q3	Q4	Total
Allocations	0.156*** (0.062)	0.086*** (0.031)	0.008** (0.005)	0.017 (0.023)	0.011** (0.006)
log(Salaires)	0.414*** (0.052)	0.188*** (0.061)	0.589*** (0.207)	0.099 (0.165)	0.440*** 0.048
log(Salaires) ²	0.001 (0.004)	-0.075*** (0.028)	-0.139* (0.083)	0.339** (0.153)	-0.008 (0.010)
log(Capital)	2.086** (0.839)	-0.507 (0.614)	0.931 (0.813)	0.397 (0.472)	-0.058 (0.175)
log(Capital) ²	0.014 (0.009)	-0.076*** (0.027)	-0.082 (0.066)	0.189* (0.111)	0.029** 0.012
log(Capital) x log(Salaires)	-0.004* (0.002)	0.020*** (0.006)	0.018 (0.015)	-0.039* (0.022)	-0.004 (0.003)
Observations	678	816	856	861	3212
Effets fixes individus	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Effets fixes années	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Effets fixes secteurs	NON	NON	NON	NON	NON
Effets fixes phase	NON	NON	NON	NON	NON
Contrôles	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI

Ecart-types robustes entre parenthèses

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Variables de contrôle : actifs immobilisés et immobilisations corporelles

TABLEAU 4.7 – Effet de l'allocation par niveau d'allocation

	<i>Variable Dépendante</i>					
	log(Production)					
	Excès	Excès	Excès	Deficit	Deficit	Deficit
log(Allocations)	0.008 (0.006)	0.006 (0.006)	0.005 (0.006)	0.053*** (0.017)	0.063*** (0.018)	0.066*** (0.018)
log(Salaires)	0.422*** (0.056)	0.425*** (0.056)	0.430*** (0.056)	0.557*** (0.165)	0.548*** (0.166)	0.523*** (0.166)
log(Salaires) ²	-0.010 (0.010)	-0.010 (0.010)	-0.011 (0.010)	0.133 (0.082)	0.126 (0.082)	0.132 (0.082)
log(Capital)	0.020 (0.190)	0.019 (0.190)	0.036 (0.190)	-1.697 (1.190)	-1.601 (1.189)	-1.735 (1.190)
log(Capital) ²	0.028** (0.013)	0.028** (0.013)	0.028** (0.013)	0.149** (0.070)	0.147** (0.070)	0.149** (0.070)
log(Capital) x log(Salaires)	-0.004 (0.003)	-0.004 (0.003)	-0.004 (0.003)	-0.032** (0.016)	-0.031* (0.016)	-0.032** (0.016)
Observations	2483	2483	2483	729	729	729
Effets fixes individus	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Effets fixes années	NON	OUI	NON	NON	OUI	NON
Effets fixes secteurs	NON	NON	NON	NON	NON	NON
Effets fixes phase	NON	NON	OUI	NON	NON	OUI
Contrôles	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI

Ecart-types robustes entre parenthèses

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Variables de contrôle : actifs immobilisés et immobilisations corporelles

4.6.2 Les différentes phases du SEQE

Le SEQE a connu quatre phases distinctes. Les différences entre chacune d'elles dépendent des secteurs couverts, du plafond de pollution, de la règle d'allocation initiale des quotas ou encore du traitement des nouveaux entrants. Selon nos résultats, le niveau de production des entreprises dépend de la distribution initiale. Il s'agit de tester si cet effet est différencié selon les phases de mise en œuvre du SEQE. Nous retenons la phase 2 et 3 pour lesquelles nous avons le plus d'observations. Les résultats sont indiqués dans le tableau 4.8.

Les deux premières colonnes du tableau considèrent les effets de l'allocation initiale des quotas sur le niveau de production en phase 2 et les deux dernières en phase 3. A chaque fois, des effets fixes individus ou secteur sont introduits. Quel que soit le modèle spécifié, l'effet de la distribution initiale des quotas sur le niveau de production n'est pas significatif en phase 2. En revanche, l'effet est significatif pour la phase 3. Dans ce cas, une diminution des allocations de quotas de 1% entraîne une réduction comprise entre 0.022 et 0.024% du niveau de production. Nous avons vu que les allocations de quotas étaient plus généreuses en phase 2 qu'en phase 3. Ainsi, les allocations initiales semblent avoir été contraignantes en phase 3 et non en phase 2. Ce résultat corrobore les résultats précédent, prenant en compte la quantité d'allocation et le statut d'excédent ou de déficit de quotas. Lorsque les dotations initiales se réduisent, les entreprises doivent acheter des quotas pour se mettre en conformité. Pour ce faire, elles ne prennent pas en compte le coût d'opportunité du quota et ne semblent pas effectuer l'arbitrage statique.

4.6.3 Marché domestique ou international

Notre échantillon contient 165 entreprises intervenant sur le marché domestique et 211 sur le marché international. Nous présentons dans le tableau 4.9 la relation entre le niveau de production et l'allocation initiale des quotas pour ces deux groupes. Les trois premières colonnes considèrent les entreprises opérant sur les marchés internationaux et les trois dernières les entreprises évoluant sur le marché domestique. Les résultats sont donnés en prenant en compte la présence d'effets fixes entreprises, années ou phases.

Nos résultats montrent que l'allocation initiale des quotas n'a pas d'effet sur les entreprises intervenant sur un marché international. Par contre, l'effet est positif et significatif pour les entreprises nationales. Une augmentation de 1% des allocations entraîne une augmentation entre 0.024 et 0.030% de la production.

TABLEAU 4.8 – Effet de l'allocation par phase

	<i>Variable dépendante :</i>			
	log(Production)			
	P2	P2	P3	P3
log(Allocations)	-0.023 (0.016)	0.013 (0.009)	0.024* (0.014)	0.022** (0.010)
log(Salaires)	0.496*** (0.087)	0.625*** (0.057)	0.597*** (0.092)	0.851*** (0.054)
log(Salaires) ²	-0.114*** (0.042)	-0.093*** (0.024)	-0.051 (0.054)	-0.009 (0.014)
log(Capital)	-4.088*** (0.538)	-0.793** (0.327)	0.689** (0.319)	1.501*** (0.214)
log(Capital) ²	-0.065 (0.040)	-0.046* (0.026)	0.044 (0.045)	0.084*** (0.018)
log(Capital) x log(Salaires)	0.021** (0.009)	0.013** (0.006)	-0.009 (0.009)	-0.020*** (0.004)
Observations	1325	1325	1620	1620
Effets fixes individus	OUI	NON	OUI	NON
Effets fixes années	OUI	OUI	OUI	OUI
Effets fixes secteurs	NON	OUI	NON	OUI
Controles	OUI	OUI	OUI	OUI

Ecart-types robustes entre parenthèses

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Variables de contrôle : actifs immobilisés et immobilisations corporelles

L'Union Européenne a mis en place des mécanismes spécifiques pour atténuer le risque de fuite de carbone, tels que l'allocation gratuite de quotas aux secteurs dits « exposés ». Si les entreprises exportatrices reçoivent plus de quotas que les entreprises nationales, ce résultat corrobore les précédents. Les entreprises achètent des quotas quand elles en ont besoin pour produire et cela, sans faire d'arbitrage économique. Les plus contraintes sont celles qui reçoivent le moins de quotas.

TABLEAU 4.9 – Effet de l'allocation par statut d'exportation

	<i>Variable dépendante :</i>					
	log(Production)					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Exporter	Exporter	Exporter	No exporter	No exporter	No exporter
log(Allocations)	0.009 (0.007)	0.004 (0.007)	0.005 (0.007)	0.024*** (0.009)	0.030*** (0.010)	0.030*** (0.010)
log(Salaires)	0.381*** (0.071)	0.396*** (0.072)	0.400*** (0.072)	0.393*** (0.077)	0.385*** (0.077)	0.391*** (0.077)
log(Salaires) ²	-0.048 (0.037)	-0.037 (0.037)	-0.042 (0.037)	0.004 (0.011)	0.004 (0.011)	0.004 (0.011)
log(Capital)	-0.319 (0.241)	-0.257 (0.242)	-0.285 (0.241)	0.228 (0.291)	0.228 (0.291)	0.232 (0.290)
log(Capital) ²	-0.031 (0.028)	-0.023 (0.028)	-0.026 (0.028)	0.052*** (0.016)	0.049*** (0.016)	0.052*** (0.016)
log(Capital) x log(Salaires)	0.009 (0.006)	0.008 (0.006)	0.008 (0.006)	-0.010*** (0.004)	-0.010*** (0.004)	-0.010*** (0.004)
Observations	1960	1960	1960	1252	1252	1252
Effets fixes individus	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Effets fixes années	NON	OUI	OUI	NON	OUI	NON
Effets fixes secteurs	NON	NON	NON	NON	NON	NON
Effets fixes phase	NON	NON	OUI	NON	NON	OUI
Controles	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI

Ecart-types robustes entre parenthèses

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Variables de contrôle : actifs immobilisés et immobilisations corporelles

4.6.4 Les secteurs de production

Les entreprises de notre échantillon appartiennent à des secteurs différents et cette diversité d'activités est aussi une source d'hétérogénéité car chaque secteur possède une structure de production différente. Nous cherchons donc à analyser si l'impact de la distribution initiale des quotas sur le niveau de production est différent en fonction des secteurs.

Les résultats sont indiqués dans le tableau 4.10. Il s'avère que l'effet des allocations diffère aussi en fonction des secteurs. Pour le secteur de l'industrie alimentaire, des minéraux et de la métallurgie, l'impact du niveau d'allocation sur la production des entreprises est positif et significatif, avec des élasticités valant respectivement 0.018, 0.031 et 0.024%. Ces effets marginaux sont particulièrement élevés pour les secteurs des minéraux. Cependant, il n'est pas significatif pour les autres secteurs. Une analyse plus approfondie de ces résultats devrait prendre en compte les allocations initiales par secteur et les comparer aux besoins des entreprises.

TABLEAU 4.10 – Effet de l'allocation par secteur

	<i>Variable dépendante :</i>					
	log(Production)					
	Alimentaire	Papier	Chimie	Minéraux	Métallurgie	Automobile
log(Allocations)	0.018*** (0.005)	0.018 (0.012)	-0.001 (0.013)	0.031*** (0.007)	0.024*** (0.006)	0.020 (0.024)
log(Salaires)	0.229*** (0.057)	0.501*** (0.075)	0.247* (0.106)	0.510*** (0.056)	0.817** (0.283)	1.522*** (0.306)
log(Salaires) ²	0.017 (0.028)	-0.176*** (0.037)	0.121 (0.078)	0.007 (0.004)	-0.065 (0.162)	-0.861** (0.248)
log(Capital)	0.737 (0.420)	1.704* (0.739)	-0.382 (0.634)	1.109*** (0.271)	1.463 (1.079)	-1.243 (0.645)
log(Capital) ²	-0.039* (0.018)	-0.107** (0.034)	0.132 (0.079)	0.029* (0.014)	0.028 (0.109)	-0.525* (0.213)
log(Capital) x log(Salaires)	0.009* (0.004)	0.025** (0.008)	-0.023 (0.017)	-0.008** (0.003)	-0.007 (0.024)	0.104* (0.040)
Observations	664	553	508	655	251	72
Effets fixes individus	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Effets fixes années	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Effets fixes secteurs	NON	NON	NON	NON	NON	NON
Contrôles	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI

Ecart-types robustes entre parenthèses

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Variables de contrôle : actifs immobilisés et immobilisations corporelles

4.7 Conclusion

Lorsque la distribution initiale des quotas est exogène et que les marchés fonctionnent de façon concurrentielle, [Montgomery \(1972\)](#) montre que la dotation initiale n'a pas d'impact sur l'allocation finale des quotas. Ce résultat théorique important est mobilisé pour justifier notamment le recours à un marché de quotas à la place d'une taxe pigouvienne. Il procure au régulateur une grande flexibilité dans la mise en œuvre de la politique environnementale. Ce résultat est théoriquement facilement transposable au lien entre allocation initiale des quotas et niveau de production.

L'objectif de cette étude était d'analyser la nature de ce lien pour les entreprises soumises au SEQE. Notre échantillon concerne les entreprises françaises du secteur manufacturier qui reçoivent principalement des allocations gratuites de quotas. Pour ce faire, nous avons utilisé une fonction de production translog et un estimateur de données de panel sur la période 2007-2018. Nous montrons que, globalement, les niveaux de production augmentent avec la distribution initiale des quotas. Cette étude remet donc en cause le résultat de Montgomery.

Il s'avère que notre résultat est significatif pour les entreprises de notre échantillon recevant le moins de quotas. Il pourrait suggérer que les entreprises n'effectuent pas d'arbitrage statique pour décider du montant de quotas à détenir et considèrent le quota comme un droit à produire. Les entreprises en achètent si elles en ont besoin pour se mettre en conformité mais sans faire d'arbitrage entre le prix du quota et le coût marginal de réduction des émissions. Afin de tester cette idée, nous avons différencié notre échantillon en considérant les entreprises qui présentent un excès et un déficit de quotas par rapport à leur besoin pour se mettre en conformité. Il s'avère que seules les entreprises acheteuses de quotas présentent un lien positif et significatif entre la distribution initiale de quotas et le niveau de production, justifiant ainsi l'hypothèse de non arbitrage. La réponse à notre question de recherche dépend aussi de la phase du SEQE. Il apparaît que les résultats sont significatifs pour la troisième phase et non pour la seconde. Cela pourrait s'expliquer par la politique environnementale qui devient plus coercitive à partir de la troisième phase. Nous montrons également que l'allocation initiale des quotas a un impact sur le niveau de production des entreprises qui interviennent principalement sur un marché domestique. Il s'avère que le SEQE met en place des dispositifs particuliers pour éviter les fuites de carbone, ce qui signifie que les entreprises exportatrices seraient plus à même de recevoir davantage de quotas

que les entreprises intervenant sur le marché domestique. Ce dernier résultat corrobore ainsi les précédents. Enfin, il apparaît que le résultat principal tient pour le secteur alimentaire, des minéraux et de la métallurgie, mais que la relation est non significative pour le secteur du papier, de la chimie et automobile.

Malgré une allocation initiale de quotas exogène et un marché des quotas qui ne semble pas présenter d'imperfections de marché, la dotation initiale impacte le niveau de production. Le résultat de Montgomery n'est donc pas satisfait dans le SEQE sur la période considérée. Nos résultats suggèrent que les entreprises se comportent de façon myope et ne réalisent pas l'arbitrage statique entre le prix des quotas et le coût marginal de réduction des émissions. Le coût d'opportunité du quota n'est pas pris en compte dans le calcul économique des entreprises. Dans ce cas, les réductions d'émission ne seraient pas réduites à moindre coût sur le marché européen du carbone. Cette étude fait donc suite aux travaux étudiant la divergence entre les comportements observés et ceux prédits par les modèles de choix rationnels.

Notre analyse devrait être complétée en cherchant à analyser plus précisément le critère d'efficacité par les coûts dans le SEQE. La généralisation du recours aux enchères pourrait modifier nos résultats. Par ailleurs, des analyses plus sectorielles devraient être menées afin de mieux saisir les différences de comportements des entreprises appartenant à des secteurs spécifiques. Enfin, il serait utile d'avoir un échantillon plus large d'entreprises afin d'analyser l'impact de la distribution initiale sur le niveau de production des entreprises recevant le plus (le moins) de quotas appartenant à un secteur particulier ou intervenant sur un marché national ou international. L'analyse pourrait également être menée en considérant séparément les entreprises appartenant aux secteurs exposés ou non exposés.

4.8 Annexes

TABLEAU 4.11 – Liste des entreprises avec extension de capacité

ARKEMA FRANCE
SOLVAY OPERATIONS FRANCE
SICAL
SGD S A
LUCART SAS
MAXAM TAN SAS
NIPRO PHARMAPACKAGING FRANCE
TEREOS STARCH & SWEETENERS EUROPE
COOPERATIVE ISIGNY-SAINTE MERE
KNAUF INSULATION LANNEMEZAN
LHOIST FRANCE OUEST
RHODIA OPERATIONS
INGREDIA
SOLEVAL FRANCE
ADISSEO FRANCE SAS
NOVAPEX

TABLEAU 4.12 – Statistiques descriptives

	Moyenne	Ecart-type	Nombre d'entreprises
Production	504032.1	794727.9	16
Allocations	32856.58	29573.25	16
Émissions vérifiées	25542.17	22632.29	16
Salaires	56732.36	90375.67	16
Capitaux	155643	206438.6	16
Actif immobilisé net	393408.4	758965.6	16
Immobilisations corporelles nettes	153163.4	191122.3	16
Marché national	-	-	6
Marché international	-	-	10
Déficit d'allocations(2008)	-	-	1
Déficit d'allocations(2013)	-	-	6

CHAPITRE 5

Conclusion

5.1 Résumé de la thèse

L'Union européenne s'est positionnée en tant que pionnière dans la lutte contre le changement climatique en mettant en place le SEQE de l'UE. Cette initiative vise à réglementer les émissions de gaz à effet de serre des entreprises en allouant des quotas d'émission et en permettant leur échange sur un marché. Cependant, les entreprises ont exprimé des préoccupations concernant les effets de cette politique environnementale sur leurs performances. Elles craignent de supporter des contraintes opérationnelles, des coûts élevés ou une perte de compétitivité. Ces inquiétudes ont déclenché un débat sur la viabilité et l'efficacité du SEQE de l'UE en tant qu'instrument de réduction des émissions. Nous avons donc décidé d'aborder cette préoccupation dans cette thèse afin d'apporter notre contribution à ce débat. Nous avons exploré l'impact du SEQE de l'UE sur l'efficacité des entreprises, la structure de leur capital et les niveaux de production. Pour ce faire, nous avons construit une base de données originales reliant les données financières des entreprises françaises à leurs variables environnementales. En ayant recours à une analyse empirique, nous avons cherché à éclairer la manière dont cette politique environnementale a pu influencer et façonner les décisions et les performances des entreprises au sein de l'UE.

Le deuxième chapitre de la thèse analyse la relation entre l'efficacité des entreprises et le SEQE. Cette étude repose sur un échantillon comprenant 305 entreprises françaises participant au SEQE et 10 323 entreprises non participantes, sur la période allant de 2005 à 2018. Les secteurs principaux de notre échantillon comprennent l'industrie alimentaire, les minéraux, l'automobile, la métallurgie et le papier. Pour évaluer l'efficacité des entreprises, nous avons utilisé la méthode de la frontière d'efficacité. La comparaison entre les entreprises participant au SEQE et celles qui n'y participent pas a été réalisée à l'aide de la méthode des

doubles différences doublement robustes. Nos observations révèlent qu'à partir de 2016, le SEQE de l'UE a eu un effet positif sur les entreprises participantes. Ces résultats suggèrent que les entreprises participant au SEQE, contraintes par les limites d'émissions, ont intensifié leurs efforts pour optimiser leur production en minimisant l'utilisation des ressources. Cependant, ces résultats présentent des différences selon les secteurs étudiés. Ceux du secteur alimentaire vont dans le sens de l'effet global, ceux du secteur du papier montrent une relation opposée et les autres secteurs ne révèlent pas d'effets significatifs. Cela montre donc la nécessité de prendre en compte l'appartenance sectorielle lors de l'élaboration de politiques afin de cibler plus précisément les impacts et les adaptations nécessaires.

Dans le troisième chapitre, nous avons procédé à une évaluation de l'impact du SEQE de l'UE sur la structure du capital des entreprises. Cette structure est mesurée à travers le ratio de la dette par rapport au total de l'actif immobilisé. L'étude englobe la période de 2007 à 2018. À l'aide de la méthode de l'entropy balancing, nous examinons comment le SEQE influence la structure du capital des entreprises. Nos résultats indiquent un effet positif du SEQE sur la structure du capital, révélant que les entreprises participant au SEQE ont tendance à s'endetter davantage que leurs homologues non participantes. Cependant, cet effet diminue avec l'augmentation des allocations initiales de quotas. Ces résultats suggèrent que les entreprises qui ont reçu le moins de quotas gratuits se sont mises en conformité en investissant dans des technologies de réduction de la pollution, et ce en recourant au financement par l'emprunt. Les variables de la politique environnementale ont donc un impact sur la structure financière des entreprises, remettant ainsi en cause le théorème de Modigliani-Miller.

Il s'avère que cet effet positif est plus prononcé pendant la phase 2 du SEQE et qu'il est moins marqué pendant la phase 3. Cela pourrait indiquer que les entreprises, anticipant un durcissement de la politique environnementale, ont initialement investi dans des technologies de réduction financées par endettement. Elles ont continué à bénéficier de ces technologies en phase 3.

Par ailleurs, cet effet positif est principalement observé pour les entreprises opérant sur le marché intérieur, contrairement à celles opérant à l'international. Ces dernières reçoivent peut-être davantage de quotas gratuits au titre des secteurs exposés aux fuites de carbone, ce qui corroborerait ainsi le résultat précédent.

En menant une analyse d'hétérogénéité en fonction des secteurs, notre étude révèle un effet positif du SEQE sur la structure du capital dans les secteurs de

l'alimentation, des minéraux et de la métallurgie, un effet négatif dans le secteur automobile et des effets non significatifs dans les autres secteurs. Cette diversité de résultats suggère que les futures politiques devraient prendre en compte les spécificités des différents secteurs. En guise de recommandation, il est suggéré que les décideurs facilitent l'accès au crédit pour les entreprises, ce qui pourrait les aider à financer leurs investissements pour atteindre les objectifs de réduction des émissions fixés par le SEQE.

Le quatrième chapitre de la thèse a examiné l'impact de l'allocation initiale des quotas sur les décisions de production des entreprises. La période d'étude s'étend de 2007 à 2018, avec un échantillon composé de 392 entreprises opérant au sein du SEQE. Les résultats révèlent une relation positive entre l'allocation initiale et le niveau de production des entreprises, remettant ainsi en cause le résultat de Montgomery (1972). Plus précisément, ce résultat est valide pour les entreprises qui reçoivent le moins de quotas.

Une analyse d'hétérogénéité montre que la relation est positive et significative pour les entreprises en déficit d'allocation, tandis qu'elle est non significative pour les entreprises qui ont un surplus de quotas. Par ailleurs, cette relation est positive au cours de la Phase 3 du SEQE, tandis qu'elle n'apparaît pas significative au cours de la Phase 2. Dans la mesure où le plafond de pollution a été réduit en phase 3, davantage d'entreprises vont se retrouver en position d'achat, ce qui corrobore ainsi le résultat précédant.

Une différenciation apparaît entre les entreprises opérant au niveau national et celles présentes sur les marchés internationaux. Les entreprises nationales prennent des décisions de production dépendant de leurs allocations contrairement aux autres. Encore une fois, il est probable que ces entreprises reçoivent moins de quotas gratuits par rapport à celles intervenant sur les marchés internationaux.

Des résultats distincts émergent lorsque l'analyse considère les différents secteurs. Les secteurs de l'alimentation, des minéraux et de la métallurgie présentent des relations positives et significatives entre l'allocation initiale et le niveau de production, tandis que les autres secteurs ne révèlent pas de corrélations significatives. Cette diversité de résultats souligne l'importance pour les régulateurs de prendre en compte les caractéristiques spécifiques de chaque secteur lors de l'élaboration de politiques de distribution des allocations gratuites.

Globalement, cette étude remet ainsi en cause le critère d'efficacité par les coûts au sein du SEQE, et pose la question de la divergence des comportements observés

par rapport à ceux prédits par les modèles de choix rationnels.

5.2 Points essentiels

Les analyses présentées dans la thèse convergent pour mettre en évidence un impact significatif du SEQE de l'UE, et notamment des allocations initiales gratuites, sur le comportement des entreprises.

Le deuxième chapitre montre que les entreprises participant au SEQE ont amélioré leur efficacité par rapport à celles non participantes. Cette observation soulève des considérations essentielles pour les décideurs politiques et les régulateurs environnementaux. Cela encourage la perspective d'élargir la portée du SEQE pour englober un plus grand nombre d'entreprises. En impliquant davantage d'acteurs économiques dans ce marché, l'effet positif sur l'efficacité pourrait être amplifié à plus grande échelle. Les avantages environnementaux pourraient être améliorés en réduisant les émissions de gaz à effet de serre, mais cela pourrait aussi stimuler des dynamiques économiques positives en encourageant davantage d'entreprises à optimiser leurs processus et leurs pratiques. Cependant, une telle expansion ne devrait pas être entreprise sans une analyse approfondie des spécificités de chaque secteur. Comme le soulignent les résultats de la thèse, les effets du SEQE peuvent varier considérablement d'un secteur à l'autre. Par conséquent, une expansion progressive et ciblée, en tenant compte de ces différences sectorielles, pourrait optimiser les résultats tout en évitant des conséquences indésirables.

Le troisième chapitre révèle que les entreprises participant au SEQE ont adopté des niveaux plus élevés d'endettement par rapport aux entreprises non participantes. Cette observation met en lumière la manière dont les entreprises réagissent face au SEQE pour se mettre en conformité.

Cette augmentation de l'endettement peut être interprétée comme une réponse stratégique des entreprises pour faire face aux contraintes environnementales découlant du SEQE. Ces entreprises semblent anticiper les coûts liés à la réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, elles optent pour l'endettement afin de financer des initiatives vertes, améliorer l'efficacité énergétique et adopter des technologies respectueuses de l'environnement. En d'autres termes, l'endettement semble servir de moyen pour accéder aux ressources financières nécessaires afin de mettre en œuvre des mesures de durabilité. Ce constat souligne l'importance de créer un environnement favorable pour faciliter l'accès au crédit et aux technologies respectueuses de l'environnement pour les entreprises participant au SEQE. En

supprimant les obstacles financiers et en fournissant des incitations ciblées, les régulateurs et les décideurs pourraient renforcer la capacité des entreprises à effectuer une transition efficace vers des processus de production moins polluants. Cela pourrait également favoriser l'innovation et l'adoption de solutions durables, alignant ainsi les intérêts économiques des entreprises sur les objectifs environnementaux.

Le quatrième chapitre démontre l'impact de l'allocation initiale des quotas sur les niveaux de production des entreprises. Les décisions prises par les régulateurs concernant la distribution initiale de quotas ont donc un effet direct et significatif sur le comportement des entreprises participantes, contrairement aux prédictions de Montgomery (1972). Ces allocations sont perçues par les entreprises comme des ressources essentielles pour maintenir leurs opérations. Par conséquent, une allocation insuffisante de quotas entraîne des contraintes quant à leur capacité à maintenir ou à augmenter leurs niveaux de production courants. Cela les oblige à réduire leur production ou à réajuster leurs opérations.

Globalement, cette thèse met en lumière la complexité des interactions entre les politiques environnementales et le comportement des entreprises. Elle souligne que les effets peuvent varier considérablement en fonction des secteurs, des phases de mise en œuvre ou du marché sur lequel intervient l'entreprise. Par conséquent, une approche spécifique est nécessaire pour concevoir et mettre en place des politiques environnementales efficaces. Cela nécessite une compréhension approfondie des mécanismes économiques et des incitations qui façonnent le comportement des entreprises.

En conclusion, l'impact du SEQE de l'UE sur les entreprises ne se limite pas à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Il influence également leur efficacité, leur structure de capital et leur décision de production. En intégrant ces résultats dans la formulation de politiques, les décideurs peuvent contribuer à créer un environnement permettant de favoriser la croissance économique et la durabilité environnementale. Cette approche équilibrée est essentielle pour faire face au défi urgent posé par le changement climatique à l'échelle mondiale.

5.3 Perspectives de recherche futures

Une première limite que nous avons rencontrée dans ces travaux de recherche est la contrainte liée à la disponibilité des données. Tout d'abord, nous n'avons pas accès aux données financières avant 2005. Cette lacune temporelle a restreint notre capacité à effectuer des comparaisons avant et après la mise en œuvre du SEQE.

Par ailleurs, nos résultats obtenus avec des données françaises ne sont peut-être pas généralisables. Par conséquent, l'inclusion de données provenant d'entreprises d'autres pays pourrait permettre de mener une étude plus large. Cette dernière faciliterait l'identification de schémas communs et de disparités significatives entre les pays dans les réponses des entreprises face au SEQE.

Une autre voie de recherche serait d'explorer la destination des investissements réalisés par les entreprises à la suite de leur endettement. Cette analyse pourrait éclairer la manière dont les entreprises répondent aux incitations financières découlant du SEQE et les orientations stratégiques qu'elles adoptent. En examinant l'allocation des fonds issus de l'endettement, une compréhension complète des choix et des priorités d'investissement des entreprises pourrait être obtenue. Cela permettrait de déterminer si les entreprises optent pour des initiatives spécifiques visant à réduire les émissions de carbone, à améliorer l'efficacité énergétique ou à adopter des technologies plus propres. De plus, cette analyse pourrait identifier les défis et les obstacles spécifiques auxquels les entreprises sont confrontées dans la mise en œuvre de leurs initiatives d'investissement dans le domaine environnemental. Elle renforcerait la capacité du régulateur à élaborer des politiques de soutien adaptées et individualisées aux entreprises, à guider les incitations et l'assistance de manière à maximiser l'impact environnemental positif tout en favorisant la viabilité économique.

Il serait également intéressant de comprendre les facteurs explicatifs des différents résultats selon les secteurs. Cette approche irait au-delà des résultats agrégés pour chercher à identifier les caractéristiques spécifiques qui influencent les réactions divergentes de différentes industries face au SEQE. Cela pourrait consister à identifier et à analyser les différences structurelles et opérationnelles inhérentes à chaque secteur. Ces derniers peuvent présenter différents niveaux de dépendance à l'énergie, de besoins en capital, de degrés de concurrence ou des cycles de production distincts. De plus, il serait pertinent de prendre en compte les aspects réglementaires spécifiques à chaque secteur. Les réglementations préexistantes, les politiques de soutien gouvernemental et les normes inhérentes à chaque secteur pourraient avoir un impact sur la manière dont les entreprises réagissent à une nouvelle politique telle que le SEQE de l'UE. Cette analyse plus fine contribuera à comprendre pourquoi certains secteurs s'adaptent plus efficacement que d'autres. Par ailleurs, les marchés mondiaux, les cycles de demande, les innovations technologiques et les niveaux de concurrence varient d'un secteur à l'autre. Ces éléments peuvent profondément influencer les stratégies commerciales des entreprises en réponse aux

politiques environnementales.

L'introduction de la Réserve de Stabilité du Marché en 2019 est un facteur important d'évolution du SEQE. La principale conséquence de cette modification a été une augmentation substantielle du prix du carbone, passant de 20 euros en 2018 à environ 90 euros en 2022. Cette augmentation remarquable suggère la mise en place d'études pour mieux comprendre ses implications. Dans ce contexte, mener une analyse approfondie de l'effet du SEQE de l'UE au cours de cette période de changement serait particulièrement pertinent. Les entreprises sont susceptibles de réagir différemment au prix plus élevé du carbone, qui peut influencer leurs stratégies d'atténuation et leurs investissements dans des solutions plus propres. Une évaluation complète de cette période nous permettrait de savoir comment les entreprises ont ajusté leurs opérations de production, leurs investissements et leurs efforts de réduction des émissions en réponse à l'augmentation significative des prix du carbone. Il serait également pertinent d'examiner si cette hausse des prix a eu des répercussions distinctes selon les différents secteurs d'activité.

Bibliographie

- Abadie, A. Semiparametric difference-in-differences estimators. *The Review of Economic Studies*, 72(1) :1–19, 2005.
- Abadie, A. and Imbens, G. W. Bias-corrected matching estimators for average treatment effects. *Journal of Business & Economic Statistics*, 29(1) :1–11, 2011.
- Abrell, J., Ndoye Faye, A., and Zachmann, G. Assessing the impact of the EU ETS using firm level data. Technical report, Bruegel working paper, 2011.
- Adeneye, Y. B., Kammoun, I., and Ab Wahab, S. N. A. Capital structure and speed of adjustment : the impact of environmental, social and governance (ESG) performance. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 14 (5) :945–977, 2023. URL <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/SAMPJ-01-2022-0060/full/html>.
- Aggrey, N., Eliab, L., and Joseph, S. Firm size and technical efficiency in east african manufacturing firms. *Current research journal of Economic theory*, 2(2) : 69–75, 2010.
- Aigner, D., Lovell, C. K., and Schmidt, P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of econometrics*, 6(1) :21–37, 1977.
- Albrizio, S., Botta, E., Koźluk, T., and Zipperer, V. Do environmental policies matter for productivity growth? : insights from new cross-country measures of environmental policies. 2014.
- Ambec, S., Cohen, M. A., Elgie, S., and Lanoie, P. The porter hypothesis at 20 : can environmental regulation enhance innovation and competitiveness? *Review of environmental economics and policy*, 2013.
- An, Q., He, H., Gao, J., Nie, Q., Cui, Y., Wei, C.-j., and Xie, X. Analysis of Temporal-Spatial Variation Characteristics of Drought : A Case Study from Xinjiang, China. *Water*, 2020. doi : 10.3390/w12030741. URL <https://consensus.app/details/speculated-droughts-triggered-temperature-rise-an/5153b9d7cd8758beb46612016f3df8fb/>.

- Anderson, B. and Di Maria, C. Abatement and Allocation in the Pilot Phase of the EU ETS. *Environmental and Resource Economics*, 48(1) :83–103, 2011.
- Anger, N. and Oberndorfer, U. Firm performance and employment in the EU emissions trading scheme : An empirical assessment for Germany. *Energy policy*, 36(1) :12–22, 2008.
- Anser, M. K., Hanif, I., Alharthi, M., and Chaudhry, I. Impact of fossil fuels, renewable energy consumption and industrial growth on carbon emissions in Latin American and Caribbean economies. *Atmosfera*, 2020. doi : 10.20937/atm.52732. URL <https://consensus.app/details/results-indicate-growth-consumption-fossil-fuels-anser/17daf13f073b53a78cad3b60b6f13d6f/>.
- Arimura, T. H. Hedonic Prices of Sulfur in Coal under the US SO₂ Allowance Market. Technical report, Citeseer, 2002.
- Arrow, K. J., Chenery, H. B., Minhas, B. S., and Solow, R. M. Capital-labor substitution and economic efficiency. *The review of Economics and Statistics*, 43 (3) :225–250, 1961.
- Backhaus, A., Martínez-Zarzoso, I., and Muris, C. Do climate variations explain bilateral migration? A gravity model analysis. *IZA Journal of Migration*, 2015. doi : 10.1186/S40176-014-0026-3. URL <https://consensus.app/details/temperature-positively-correlated-migration-backhaus/2e7217c9daa95edfbacfbcb2d1f685a25/>.
- Baker, M. and Wurgler, J. Market timing and capital structure. *The journal of finance*, 57(1) :1–32, 2002.
- Barreca, A. I., Neidell, M., and Sanders, N. J. Long-run pollution exposure and mortality : Evidence from the Acid Rain Program. *Journal of Public Economics*, 200 :104440, August 2021. ISSN 0047-2727. doi : 10.1016/j.jpubeco.2021.104440. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0047272721000761>.
- Battese, G. E. and Coelli, T. J. Frontier production functions, technical efficiency and panel data : with application to paddy farmers in india. *Journal of productivity analysis*, 3(1) :153–169, 1992.
- Baxter, N. D. Leverage, risk of ruin and the cost of capital. *the Journal of Finance*, 22(3) :395–403, 1967. URL https://www.jstor.org/stable/2978892?casa_token=Y3jJ-OG6ivgAAAAA:6QLowc8IvJ-

[qAcAWMbIULc9ahtDbsCZHNhfzEM0429pLLtYvALo1_w8a3mci6ehR_yFCVt-eQj8KsuZuEK-L9VQipRkwXWepWqKzhY2X0zqV8U40gw](https://doi.org/10.1073/pnas.1918128117).

- Bayer, P. and Aklin, M. The European Union Emissions Trading System reduced CO₂ emissions despite low prices. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(16) :8804–8812, April 2020. ISSN 0027-8424, 1091-6490. doi : 10.1073/pnas.1918128117. URL <https://pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1918128117>.
- Becker, R. and Henderson, V. Effects of air quality regulations on polluting industries. *Journal of political Economy*, 108(2) :379–421, 2000.
- Berger, A. N. and Udell, G. F. The economics of small business finance : The roles of private equity and debt markets in the financial growth cycle. *Journal of banking & finance*, 22(6-8) :613–673, 1998. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378426698000387>.
- Bohringer, C., Hoffmann, T., Lange, A., Loschel, A., and Moslener, U. Assessing emission regulation in Europe : an interactive simulation approach. *The Energy Journal*, 26(4), 2005.
- Bradley, M., Jarrell, G. A., and Kim, E. H. On the existence of an optimal capital structure : Theory and evidence. *The journal of Finance*, 39(3) :857–878, 1984.
- Brohé, A. and Burniaux, S. The impact of the EU ETS on firms' investment decisions : evidence from a survey. *Carbon Management*, 6(5-6) :221–231, November 2015. ISSN 1758-3004, 1758-3012. doi : 10.1080/17583004.2015.1131384. URL <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17583004.2015.1131384>.
- Buchner, B. K., Carraro, C., and Ellerman, A. D. The allocation of European Union allowances : Lessons, unifying themes and general principles. 2006.
- Bueb, J. and Schwartz, S. Permis d'émission négociables et commerce international dans des marchés de concurrence imparfaite. *L'Actualité économique*, 85(3) : 303–318, 2009.
- Bueb, J. and Schwartz, S. Strategic manipulation of a pollution permit market and international trade. *Journal of Regulatory Economics*, 39 :313–331, 2011.
- Carlson, C., Burtraw, D., Cropper, M., and Palmer, K. L. Sulfur Dioxide Control by Electric Utilities : What Are the Gains from Trade? *Journal of Political Economy*, 108(6) :1292–1326, December 2000. ISSN 0022-3808, 1537-534X. doi :

- 10.1086/317681. URL <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/317681>.
- CERES. RGGI Fact Sheet.pdf. Technical report, 2016. URL <https://www.ceres.org/sites/default/files/Fact%20Sheets%20or%20misc%20files/RGGI%20Fact%20Sheet.pdf>.
- Chan, H. S., Li, S., and Zhang, F. *Firm competitiveness and the European Union emissions trading scheme*. The World Bank, 2013.
- Christensen, L., Jorgenson, D., and Lau, L. Duality in the theory of production : Conjugate duality and transcendental logarithmic function. *Econometrica*, 39(4) : 255–256, 1971.
- Christensen, L. R., Jorgenson, D. W., and Lau, L. J. Transcendental logarithmic production frontiers. *The review of economics and statistics*, pages 28–45, 1973.
- Chèze, B., Chevallier, J., Berghmans, N., and Alberola, E. On the CO2 Emissions Determinants During the EU ETS Phases I and II : A Plant-level Analysis Merging the EUTL and Plants Power Data. *The Energy Journal*, 41(4) :153–184, July 2020. ISSN 0195-6574, 1944-9089. doi : 10.5547/01956574.41.4.bche. URL <http://journals.sagepub.com/doi/10.5547/01956574.41.4.bche>.
- CITEPA. Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques. Bilan des émissions en France de 1990 à 2022. Technical report, 2023. URL https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/secten/2023/Citepa_Secten_ed2023_v1.pdf.
- Cobb, C. W. and Douglas, P. H. A theory of production. *The American Economic Review*, 18(1) :139–165, 1928.
- Cohen, M. A. and Tubb, A. The impact of environmental regulation on firm and country competitiveness : a meta-analysis of the porter hypothesis. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 5(2) :371–399, 2018.
- Commins, N., Lyons, S., Schiffbauer, M., and Tol, R. S. Climate policy & corporate behavior. *The Energy Journal*, 32(4), 2011.
- Commission Européenne. Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC, October 2003. URL <http://data.europa.eu/eli/dir/2003/87/oj/eng>.

- Commission Européenne. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. *Official Journal of the European Union*, 5 :2009, 2009.
- Commission Européenne. Commission Decision of 27 April 2011 determining transitional Union-wide rules for harmonised free allocation of emission allowances pursuant to Article 10a of Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Union*, 2011.
- Commission Européenne. Directive 2014/65/EU of the European Parliament and of the Council of 15 May 2014 on markets in financial instruments and amending Directive 2002/92/EC and Directive 2011/61/EU. *MIFID II*, 2014.
- Commission Européenne. EU ETS Handbook. Technical report, 2017. URL https://climate.ec.europa.eu/system/files/2017-03/ets_handbook_en.pdf.
- Copeland, B. R. and Taylor, M. S. Trade, growth, and the environment. *Journal of Economic literature*, 42(1) :7–71, 2004.
- Crocker, T. D. The structuring of atmospheric pollution control systems. *The economics of air pollution*, 61 :81–84, 1966.
- Dales, J. H. Pollution Property and Prices. *University Press, Toronto, Canada*, 1968.
- Daskalakis, N. and Psillaki, M. Do country or firm factors explain capital structure ? evidence from smes in france and greece. *Applied financial economics*, 18(2) : 87–97, 2008.
- Dechezleprêtre, A., Nachtigall, D., and Venmans, F. The joint impact of the European Union emissions trading system on carbon emissions and economic performance. 2018. URL https://www.oecd-ilibrary.org/economics/the-joint-impact-of-the-european-union-emissions-trading-system-on-carbon-emissions-and-economic-performance_4819b016-en.
- DellaVigna, S. Psychology and economics : Evidence from the field. *Journal of Economic literature*, 47(2) :315–372, 2009. URL <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jel.47.2.315>.
- Demailly, D. and Quirion, P. CO2 abatement, competitiveness and leakage in the European cement industry under the EU ETS : grandfathering versus output-based allocation. *Climate Policy*, 6(1) :93–113, 2006.

- D’Arcangelo, F. M., Pavan, G., and Calligaris, S. The impact of the european carbon market on firm productivity : Evidence from italian manufacturing firms. 2022a.
- D’Arcangelo, F. M., Pavan, G., and Calligaris, S. The impact of the European carbon market on firm productivity : Evidence from Italian manufacturing firms. 2022b.
- D’Orazio, P. and Valente, M. The role of finance in environmental innovation diffusion : An evolutionary modeling approach. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 162 :417–439, June 2019. ISSN 0167-2681. doi : 10.1016/j.jebo.2018.12.015. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167268118303457>.
- EEA. EU Emissions Trading System (ETS) data viewer — European Environment Agency, 2023. URL <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/emissions-trading-viewer-1>.
- Ellerman, A. D. and Buchner, B. K. The European Union emissions trading scheme : origins, allocation, and early results. *Review of environmental economics and policy*, 1(1) :66–87, 2007.
- Ellerman, A. D. and Buchner, B. K. Over-Allocation or Abatement ? A Preliminary Analysis of the EU ETS Based on the 2005–06 Emissions Data. *Environmental and Resource Economics*, 41(2) :267–287, October 2008. ISSN 0924-6460, 1573-1502. doi : 10.1007/s10640-008-9191-2. URL <http://link.springer.com/10.1007/s10640-008-9191-2>.
- Ellerman, A. D., Marcantonini, C., and Zaklan, A. The EU ETS : Eight years and counting. *Robert Schuman Centre for Advanced Studies Research Paper*, (2014/04), 2014.
- Ellerman, A. D., Marcantonini, C., and Zaklan, A. The european union emissions trading system : ten years and counting. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2016.
- Emaziye, P., Okoh, R., and Ike, P. C. A Critical Analysis of Climate Change Factors and its Projected Future Values in Delta State, Nigeria. *Asian journal of agriculture and rural development*, 2012. URL <https://consensus.app/details/increasing-trends-temperature-values-lead-situation-emaziye/62614095549259b89725c7a99bdec5d0/>.

- Faccio, M. and Xu, J. Taxes and capital structure. *Journal of financial and Quantitative analysis*, 50(3) :277–300, 2015. URL <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-financial-and-quantitative-analysis/article/taxes-and-capital-structure/00202134414D33ADADAAAF4F351235FD6>.
- Farrell, M. J. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society : Series A (General)*, 120(3) :253–281, 1957.
- Fischer, C. and Fox, A. K. Output-based allocations of emissions permits : efficiency and distributional effects in a general equilibrium setting with taxes and trade. 2004.
- Fowlie, M. and Perloff, J. M. Distributing pollution rights in cap-and-trade programs : are outcomes independent of allocation? *Review of Economics and Statistics*, 95(5) :1640–1652, 2013.
- Ginglinger, E. and Moreau, Q. Climate Risk and Capital Structure. *Management Science*, 69(12) :7492–7516, December 2023. ISSN 0025-1909, 1526-5501. doi : 10.1287/mnsc.2023.4952. URL <https://pubsonline.informs.org/doi/10.1287/mnsc.2023.4952>.
- Gordon, M. J. Towards a theory of financial distress. *The journal of finance*, 26(2) :347–356, 1971. URL https://www.jstor.org/stable/2326050?casa_token=xE8kta47zYMAAAAA:AJBHXg4TK632D1SvrntuQEPXuWkSYPYsgCxxh08P999zR8sRm88Kqd57nSDWfsnaY3c02r-nMIscvUqNdHm8xDPcvdqgbg0eEL144dwnWW8okr3-Ucw.
- Graham, J. R. and Leary, M. T. A Review of Empirical Capital Structure Research and Directions for the Future. *Annual Review of Financial Economics*, 3(1) :309–345, December 2011. ISSN 1941-1367, 1941-1375. doi : 10.1146/annurev-financial-102710-144821. URL <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-financial-102710-144821>.
- Hagem, C. and Westskog, H. The design of a dynamic tradeable quota system under market imperfections. *Journal of Environmental Economics and Management*, 36(1) :89–107, 1998.
- Hahn, R. W. Market power and transferable property rights. *The Quarterly Journal of Economics*, 99(4) :753–765, 1984a.

- Hahn, R. W. Market power and transferable property rights. *The Quarterly Journal of Economics*, 99(4) :753–765, 1984b.
- Hainmueller, J. Entropy balancing for causal effects : A multivariate reweighting method to produce balanced samples in observational studies. *Political analysis*, 20(1) :25–46, 2012.
- Hanoteau, J. Lobbying for carbon permits in europe. *Recherches Économiques de Louvain/Louvain Economic Review*, 80(1) :61–87, 2014.
- Heathfield, D. F. and Wibe, S. *An introduction to cost and production functions*. Macmillan Education, Basingstoke, Hampshire, 1987. ISBN 978-0-333-41607-5 978-0-333-36580-9.
- Henderson, D. J. and Millimet, D. L. Pollution Abatement Costs and Foreign Direct Investment Inflows to US States : A Nonparametric Reassessment. 2007.
- Henriques, S. and Borowiecki, K. The Drivers of Long-run CO₂ Emissions in Europe, North America and Japan since 1800. *Energy Policy*, 2017. doi : 10.1016/J.ENPOL.2016.11.005. URL <https://consensus.app/details/find-levels-income-capita-fuel-switching-biomass-fossil-henriques/b7883f6ec8055f65b00c90d1201c3f5a/>.
- Hintermann, B. Market power, permit allocation and efficiency in emission permit markets. *Environmental and Resource Economics*, 49 :327–349, 2011.
- Hoffmann, V. H. EU ETS and investment decisions : : The case of the german electricity industry. *European Management Journal*, 25(6) :464–474, 2007.
- Huijbregts, M., Rombouts, L. J. A., Hellweg, S., Frischknecht, R., Hendriks, A., Meent, D. v. d., Ragas, A., Reijnders, L., and Struijs, J. Is cumulative fossil energy demand a useful indicator for the environmental performance of products? *Environmental science & technology*, 2006. doi : 10.1021/ES051689G. URL <https://consensus.app/details/conclude-fuels-driver-impacts-thereby-indicative-huijbregts/33840953365a56238f5ef10360cc765f/>.
- ICAP. Ets detailed information, June 2020. URL https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_etsmap&task=export&format=pdf&layout=list&systems%5B%5D=43.
- ICAP. China National ETS | International Carbon Action Partnership, March 2023. URL <https://icapcarbonaction.com/en/ets/china-national-ets>.

- Jaraitė, J. and Maria, C. D. Did the EU ETS make a difference? an empirical assessment using lithuanian firm-level data. *The Energy Journal*, 37(2) :68–92, 2016.
- Jaraitė, J. and Di Maria, C. Efficiency, productivity and environmental policy : a case study of power generation in the EU. *Energy Economics*, 34(5) :1557–1568, 2012.
- Jaraitė, J., Jong, T., Kažukauskas, A., Zaklan, A., and Zeitlberger, A. Matching EU ETS Accounts to Historical Parent Companies A Technical Note. page 16, 2014.
- Joltreau, E. and Sommerfeld, K. 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, 2019.
- Kahn, M. E. Particulate pollution trends in the united states. *Regional Science and Urban Economics*, 27(1) :87–107, 1997.
- Keller, W. and Levinson, A. Pollution abatement costs and foreign direct investment inflows to us states. *Review of Economics and Statistics*, 84(4) :691–703, 2002.
- Kim, J.-B., So, J.-m., and Bae, D. Global Warming Impacts on Severe Drought Characteristics in Asia Monsoon Region. *Water*, 2020. doi : 10.3390/w12051360. URL <https://consensus.app/details/this-study-demonstrates-precipitation-changes-kim/79d5dbfaeb4a55069085f1451590efe9/>.
- Klemetsen, M., Rosendahl, K. E., and Jakobsen, A. L. The impacts of the eu ets on norwegian plants' environmental and economic performance. *Climate Change Economics*, 11(01) :2050006, 2020a.
- Klemetsen, M., Rosendahl, K. E., and Jakobsen, A. L. The impacts of the EU ETS on norwegian plants' environmental and economic performance. *Climate Change Economics*, 11(01) :2050006, February 2020b. ISSN 2010-0078. doi : 10.1142/S2010007820500062. URL <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S2010007820500062>.
- Klette, T. J. and Kortum, S. Innovating firms and aggregate innovation. *Journal of political economy*, 112(5) :986–1018, 2004.
- Kumbhakar, S. C., Ortega-Argilés, R., Potters, L., Vivarelli, M., and Voigt, P. Corporate R&D and firm efficiency : evidence from Europe's top R&D investors. *Journal of Productivity Analysis*, 37(2) :125–140, April 2012. ISSN 0895-562X,

- 1573-0441. doi : 10.1007/s11123-011-0223-5. URL <http://link.springer.com/10.1007/s11123-011-0223-5>.
- Laing, T., Sato, M., Grubb, M., and Comberti, C. The effects and side-effects of the EU emissions trading scheme. *WIREs Climate Change*, 5(4) :509–519, July 2014. ISSN 1757-7780, 1757-7799. doi : 10.1002/wcc.283. URL <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wcc.283>.
- Leiter, A. M., Parolini, A., and Winner, H. Environmental regulation and investment : Evidence from European industry data. *Ecological Economics*, 70 (4) :759–770, 2011. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800910004660>.
- List, J. A., Millimet, D. L., Fredriksson, P. G., and McHone, W. W. Effects of environmental regulations on manufacturing plant births : evidence from a propensity score matching estimator. *Review of Economics and Statistics*, 85 (4) :944–952, 2003.
- Lou, J., Wu, Y., Liu, P., Kota, S., and Huang, L. Health Effects of Climate Change Through Temperature and Air Pollution. *Current Pollution Reports*, 2019. doi : 10.1007/s40726-019-00112-9. URL <https://consensus.app/details/findingsafter-summarizing-methods-results-conclude-lou/1eabaf77ec6558f3937ad776ebb2292e/>.
- Lundvall. Essays on manufacturing production in a developing economy : Kenya 1992-94. 1999. URL <https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/2940/1/LundvalldissNE.pdf>.
- Lushan, H. The first year of China’s national carbon market, reviewed, February 2022. URL <https://chinadialogue.net/en/climate/the-first-year-of-chinas-national-carbon-market-reviewed/>.
- Lutz, B. J. Emissions trading and productivity : Firm-level evidence from german manufacturing. *ZEW-Centre for European Economic Research Discussion Paper*, (16-067), 2016.
- Löfgren, , Wråke, M., Hagberg, T., and Roth, S. Why the EU ETS needs reforming : an empirical analysis of the impact on company investments. *Climate Policy*, 14(5) :537–558, September 2014. ISSN 1469-3062, 1752-7457. doi : 10.1080/14693062.2014.864800. URL <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14693062.2014.864800>.

- Löschel, A., Lutz, B. J., and Managi, S. The impacts of the EU ETS on efficiency and economic performance—An empirical analyses for German manufacturing firms. *Resource and Energy Economics*, 56 :71–95, 2019.
- Marcantonini, C., Teixido-Figueras, J., Verde, S. F., and Labandeira, X. *Low-carbon Innovation and Investment in the EU ETS*. 2017. URL <https://cadmus.eui.eu/handle/1814/47525>.
- Marin, G., Marino, M., and Pellegrin, C. The impact of the european emission trading scheme on multiple measures of economic performance. *Environmental and Resource Economics*, 71 :551–582, 2018a.
- Marin, G., Marino, M., and Pellegrin, C. The impact of the European Emission Trading Scheme on multiple measures of economic performance. *Environmental and Resource Economics*, 71 :551–582, 2018b.
- Martin, R., Muûls, M., and Wagner, U. J. The Impact of the EU ETS on Regulated Firms : What is the Evidence after Nine Years?, November 2014. URL <https://papers.ssrn.com/abstract=2344376>.
- Matzarakis, A. and Amelung, B. Physiological Equivalent Temperature as Indicator for Impacts of Climate Change on Thermal Comfort of Humans. 2008. doi : 10.1007/978-1-4020-6877-5_10. URL <https://consensus.app/details/highly-effects-climate-change-health-wellbeing-matzarakis/f3d4e0f6bfff565eaa821ad84fe663c4/>.
- McGuire, M. C. Regulation, factor rewards, and international trade. *Journal of public economics*, 17(3) :335–354, 1982.
- Meckling, W. H. and Jensen, M. C. Theory of the firm : Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of financial economics*, 3(4) : 305–360, 1976.
- Meunier, G., Ponssard, J.-P., and Quirion, P. Carbon leakage and capacity-based allocations : Is the EU right? *Journal of Environmental Economics and Management*, 68(2) :262–279, September 2014. ISSN 00950696. doi : 10.1016/j.jeem.2014.07.002. URL <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0095069614000436>.
- Modigliani, F. and Miller, M. H. The cost of capital, corporation finance and the theory of investment. *The American economic review*, 48(3) :261–297, 1958.
- Modigliani, F. and Miller, M. H. Corporate income taxes and the cost of capital :

- a correction. *The American economic review*, pages 433–443, 1963. URL https://www.jstor.org/stable/1809167?casa_token=n9ixCZIH7cEAAAAA:wWv470wRhfxGR_tp0quZ7pI1A9npUB2AD3LxdNs0fmJujylv3VhuPZ4xtYt1M-Ux1WoPfUGlF368njJYqYtAv0-po7NW0RsvpeeUQ8gKb6gdQ-3VZg.
- Montero, J.-P. Marketable pollution permits with uncertainty and transaction costs. *Resource and Energy Economics*, 20(1) :27–50, 1998.
- Montgomery, W. D. Markets in licenses and efficient pollution control programs. *Journal of Economic Theory*, 5(3) :395–418, December 1972. ISSN 0022-0531. doi : 10.1016/0022-0531(72)90049-X. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/002205317290049X>.
- Murray, B. C. and Maniloff, P. T. Why have greenhouse emissions in rggi states declined? an econometric attribution to economic, energy market, and policy factors. *Energy Economics*, 51 :581–589, 2015.
- Myers, S. C. Capital structure puzzle. *National Bureau of Economic Research Cambridge, Mass., USA*, 1984. URL <https://www.nber.org/papers/w1393>.
- Myers, S. C. and Majluf, N. S. Corporate financing and investment decisions when firms have information that investors do not have. *Journal of financial economics*, 13(2) :187–221, 1984.
- NASA. Global Surface Temperature | NASA Global Climate Change, 2023. URL <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature>.
- Ngui-Muchai, D. M. and Muniu, J. M. Firm Efficiency Differences and Distribution in the Kenyan Manufacturing Sector. *African Development Review*, 24(1) :52–66, 2012. ISSN 1467-8268. doi : <https://doi.org/10.1111/j.1467-8268.2011.00309.x>. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1467-8268.2011.00309.x>.
- Parlement Européen. Directive (UE) 2018/ 410 du parlement européen et du conseil - du 14 mars 2018 - modifiant la directive 2003/ 87/ CE afin de renforcer le rapport coût-efficacité des réductions d'émissions et de favoriser les investissements à faible intensité de carbone, et la décision (UE) 2015/ 1814. page 25, 2018.
- Petrick, S. and Wagner, U. J. The impact of carbon trading on industry : Evidence from german manufacturing firms. *Available at SSRN 2389800*, 2014.
- Pigou, A. *The economics of welfare*. 1920.

- Plott, C. R. and Zeiler, K. The willingness to pay–willingness to accept gap, the “endowment effect,” subject misconceptions, and experimental procedures for eliciting valuations. *American Economic Review*, 95(3) :530–545, 2005. URL <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/0002828054201387>.
- Porter, M. and Van der Linde, C. Green and competitive : ending the stalemate. *The Dynamics of the eco-efficient economy : environmental regulation and competitive advantage*, 33, 1995.
- Quirion, P. and Hourcade, J.-C. Does the co2 emission trading directive threaten the competitiveness of european industry? quantification and comparison to exchange rates fluctuations. In *EAERE Conference, Budapest, June (retrievable from http://eaere2004.bkae.hu/download/paper/quirionpaper.pdf)*, 2004.
- Reinaud, J. Industrial competitiveness under the european union emissions trading scheme. *Oil, Gas & Energy Law Journal (OGEL)*, 3(1), 2005.
- Rennings, K. and Oberndorfer, U. The Impacts of the European Union Emissions Trading Scheme on Competitiveness in Europe. *SSRN Electronic Journal*, 2006. ISSN 1556-5068. doi : 10.2139/ssrn.920406. URL <http://www.ssrn.com/abstract=920406>.
- Robins, J. M., Hernan, M. A., and Brumback, B. Marginal structural models and causal inference in epidemiology. *Epidemiology*, pages 550–560, 2000. URL https://www.jstor.org/stable/3703997?casa_token=MUq4rp5VPTAAAAAA:vUq25fYn91kG2fes6NQ4jDiWbVD_sH4POMLuYgbFZF_kYGMR2NZcX59tQmi4ingP7HXP_u4GMoggUSvWSYV3mXme12JM8LXxb3h5Z8XZJC7HkR_81g.
- Rop, O. I. and Ib, A. Response of Cassava and Maize Yield to Varying Spatial Scales of Rainfall and Temperature Scenarios in Port Harcourt. *Research Journal of Environmental Sciences*, 2017. doi : 10.3923/RJES.2017.137.142. URL <https://consensus.app/details/response-crop-yields-temperature-might-adverse-effect-rop/c39af020faf55ee785ffdc0993dcdf6a/>.
- Rosenbaum, P. R. Observational studies. In *Observational studies*, pages 1–17. Springer, 2002.
- Rosenbaum, P. R. and Rubin, D. B. The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. *Biometrika*, 70(1) :41–55, 1983. ISSN

- 0006-3444, 1464-3510. doi : 10.1093/biomet/70.1.41. URL <https://academic.oup.com/biomet/article-lookup/doi/10.1093/biomet/70.1.41>.
- Rubin, D. B. and Thomas, N. Combining Propensity Score Matching with Additional Adjustments for Prognostic Covariates. *Journal of the American Statistical Association*, 95(450) :573–585, June 2000. ISSN 0162-1459. doi : 10.1080/01621459.2000.10474233. URL <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.2000.10474233>. Publisher : Taylor & Francis _eprint : <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/01621459.2000.10474233>.
- Sant’Anna, P. H. and Zhao, J. B. Doubly robust difference-in-differences estimators. *Available at SSRN 3293315*, 2018.
- Sartzetakis, E. S. Permis d’émission négociables et réglementation dans des marchés de concurrence imparfaite. *L’Actualité économique*, 70(2) :139–158, 1994.
- Sartzetakis, E. S. Raising rivals’ costs strategies via emission permits markets. *Review of Industrial Organization*, 12 :751–765, 1997a.
- Sartzetakis, E. S. Tradeable emission permits regulations in the presence of imperfectly competitive product markets : welfare implications. *Environmental and Resource Economics*, 9 :65–81, 1997b.
- Scarpetta, S. and Tressel, T. Productivity and convergence in a panel of OECD industries : Do regulations and institutions matter ? 2002.
- Schwartz, S. Marchés des permis de pollution et concurrence imparfaite. *Revue française d’économie*, 20(3) :183–225, 2006.
- Schwartz, S. Exclusion par manipulation des marchés de permis d’émission. *Recherches économiques de Louvain*, 73(1) :95–119, 2007.
- Schwartz, S. Comment distribuer les quotas de pollution ? une revue de la littérature. *Revue d’économie politique*, 119(4) :535–568, 2009.
- Sijm, J., Neuhoff, K., and Chen, Y. Co2 cost pass-through and windfall profits in the power sector. *Climate policy*, 6(1) :49–72, 2006.
- Skov, C., Aarestrup, K., Baktoft, H., Brodersen, J., Brönmark, C., Hansson, L., Nielsen, E., Nielsen, T., and Nilsson, P. Influences of environmental cues, migration history, and habitat familiarity on partial migration. *Behavioral Ecology*, 2010. doi : 10.1093/BEHECO/ARQ121.

- URL <https://consensus.app/details/found-temperature-proximate-migration-decisions-skov/49f2d282e49d5d9aa323afbaa5717e14/>.
- Smale, R., Hartley, M., Hepburn, C., Ward, J., and Grubb, M. The impact of co2 emissions trading on firm profits and market prices. *Climate Policy*, 6(1) :31–48, 2006.
- Song, H., Kemp, D., Tian, L., Chu, D., Song, H., and Dai, X. Thresholds of temperature change for mass extinctions. *Nature Communications*, 2021. doi : 10.1038/s41467-021-25019-2. URL <https://consensus.app/details/results-show-rate-magnitude-temperature-change-song/2db1bd1de5a65438b7b65d8766a7c33b/>.
- Stavins, R. N. Transaction costs and tradeable permits. *Journal of environmental economics and management*, 29(2) :133–148, 1995.
- Stavins, R. N. What can we learn from the grand policy experiment? Lessons from SO2 allowance trading. *Journal of Economic perspectives*, 12(3) :69–88, 1998. URL <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jep.12.3.69>.
- Swinton, J. R. Phase I Completed : An Empirical Assessment of the 1990 CAAA. *Environmental and Resource Economics*, 27(3) :227–246, March 2004. ISSN 0924-6460. doi : 10.1023/B:EARE.0000017662.36573.2c. URL <http://link.springer.com/10.1023/B:EARE.0000017662.36573.2c>.
- Teixidó-Figueras, J., Verde, S., and Nicolli, F. The impact of the EU Emissions Trading System on low-carbon technological change : the empirical evidence. *Ecological Economics*, 2019, vol. 164, num. October, p. 106347, 2019. URL <https://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/136957>.
- Tietenberg, T. H. *Emissions trading, an exercise in reforming pollution policy*. Resources for the Future, 1985.
- Trading Economics. EU Carbon Permits - Price - Chart - Historical Data - News, 2023. URL <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>.
- Tresselt, T. and Scarpetta, S. *Boosting productivity via innovation and adoption of new technologies : any role for labor market institutions ?*, volume 3273. World Bank Publications, 2004.
- UE. ETS handbook. Technical report, 2015. URL https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/ets_handbook_en.pdf.

- Van Ark, B. Europe's Productivity Gap : Catching Up or Getting Stuck? In *Economics Program Working Paper Series June 2006, The Conference Board Europe and Growth and Development Center of the University of Groningen*, 2006.
- Veith, S., Werner, J. R., and Zimmermann, J. Capital market response to emission rights returns : Evidence from the European power sector. *Energy Economics*, 31(4) :605–613, 2009.
- Venmans, F., Ellis, J., and Nachtigall, D. Carbon pricing and competitiveness : are they at odds? *Climate Policy*, 20(9) :1070–1091, 2020.
- Venmans, F. M. J. The effect of allocation above emissions and price uncertainty on abatement investments under the EU ETS. *Journal of Cleaner Production*, 126 :595–606, 2016. URL https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616300208?casa_token=TqDhB2U7oTAAAAAA:8LyrGTHUEasFiQtROVf0oXUNjeytEtt7tU7jTx4y1d1_-1MnxxtfY3Tmoxtr_htAXG_g_5fs.
- Verde, S. F. The impact of the eu emissions trading system on competitiveness and carbon leakage : the econometric evidence. *Journal of Economic Surveys*, 34(2) :320–343, 2020.
- Wagner, U. and Petrick, S. The impact of carbon trading on industry : Evidence from German manufacturing firms. 2014.
- Wagner, U., Muuls, M., Martin, R., and Colmer, J. The causal effects of the European Union Emissions Trading Scheme : evidence from French manufacturing plants. In *Fifth World Congress of Environmental and Resources Economists, Istanbul, Turkey*. Citeseer, 2014.
- Westskog, H. Market power in a system of tradeable co2 quotas. *The Energy Journal*, 17(3), 1996.
- World Bank. State and Trends of Carbon Pricing 2022. Serial, World Bank, Washington, DC, May 2022. URL <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/37455>. Accepted : 2022-05-19T13 :26 :51Z ISBN : 9781464818950.
- Yan, J. The impact of climate policy on fossil fuel consumption : Evidence from the Regional Greenhouse Gas Initiative (RGGI). *Energy Economics*, 100 :105333, August 2021. ISSN 0140-9883. doi : 10.1016/j.eneco.2021.105333. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988321002395>.

- Zaklan, A. Coase and Cap-and-Trade : Evidence on the Independence Property from the European Carbon Market. *American Economic Journal : Economic Policy*, 15 (2) :526–558, May 2023. ISSN 1945-7731, 1945-774X. doi : 10.1257/pol.20210028. URL <https://pubs.aeaweb.org/doi/10.1257/pol.20210028>.
- Zhang, S., Lundgren, T., and Zhou, W. Energy efficiency in swedish industry : A firm-level data envelopment analysis. *Energy Economics*, 55 :42–51, 2016.
- Zhang, Z. Regional Pilots and Carbon Pricing in China, ifo DICE Report. *ifo Institut - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München*, 18(Iss. 01) :09–12, 2020. ISSN 2511-7823.
- Zhao, Q. and Percival, D. Entropy balancing is doubly robust, 2016.
- Ziane, Y. La structure d'endettement des PME françaises : une étude sur données de panel. *Revue internationale PME : Économie et gestion de la petite et moyenne entreprise*, 17(1) :123–138, 2004.