

**Louvain School of Management**

**Le système communautaire  
d'échange de quotas d'émission :  
Quelle influence ce système a-t-il eu  
sur les émissions de gaz à effet de  
serre en Europe ?**

Auteur : Guillaume Bougard  
Promoteur : Jean-Baptiste Hasse  
Année académique 2022-2023  
Travail de fin d'études (TFE) en vue d'obtenir le titre de  
Master en Ingénieur de gestion à finalité Financial engineering  
Horaire de jour



## Remerciements

Je souhaite remercier mon promoteur Jean-Baptiste Hasse pour son aide et sa disponibilité tout au long de l'écriture de ce mémoire. Je le remercie tout particulièrement pour ses conseils avisés qui m'ont permis de surmonter les problèmes auxquels j'étais confrontés.

## Table des matières

<b><i>Introduction</i></b> .....	<b>1</b>
<b><i>L'évolution de la pollution en Europe</i></b> .....	<b>3</b>
Données historiques générales.....	3
Données historiques par secteur .....	4
<b><i>Les différentes COP et leurs objectifs</i></b> .....	<b>7</b>
Le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC).....	7
<b>Historique des COP</b> .....	<b>8</b>
Le protocole de Kyoto .....	8
L'Accord de Paris .....	11
<b><i>Le système des quotas</i></b> .....	<b>12</b>
<b><i>La mise en place des quotas carbone</i></b> .....	<b>16</b>
<b><i>Partie empirique</i></b> .....	<b>19</b>
<b>Problématique et hypothèses</b> .....	<b>19</b>
<b>Choix des données</b> .....	<b>19</b>
<b>Variables</b> .....	<b>20</b>
<b>Méthodologie</b> .....	<b>21</b>
La régression linéaire .....	21
La méthode des doubles différences.....	21
Test de Granger .....	22
<b><i>Résultats</i></b> .....	<b>24</b>
<b>Modèle de régression linéaire</b> .....	<b>24</b>
<b>Modèle des doubles différences</b> .....	<b>25</b>
<b>Le test de Granger</b> .....	<b>28</b>
<b><i>Limitations et conclusion</i></b> .....	<b>30</b>
<b><i>Références</i></b> .....	<b>32</b>
<b><i>Annexe</i></b> .....	<b>35</b>

## Introduction

L'année passée, l'année 2022 a été élue l'année la plus chaude jamais enregistrée sur le territoire belge depuis le début des observations en 1833 selon l'Institut royale météorologique. L'année 2021 est seulement l'une des 7 années les plus chaudes. Les années 2015-2021 ont été les années les plus chaudes jamais enregistrées. L'année 2023 pourrait également suivre cette tendance et battre l'année 2022 en devenant elle-même l'année la plus chaude jamais enregistrée. Le mois de juin 2023 a déjà été confirmé comme étant le mois de juin le plus chaud jamais enregistré. D'années en années de mois en mois, les températures battent des records. Le réchauffement climatique est déjà en marche et l'augmentation des températures n'est pas un phénomène qui se produira en 2100 mais qui a déjà cours en ce moment. Depuis 1900, les températures ont déjà augmenté en moyenne de 1,1°C (Service Changements climatiques, s. d.-b).

Le réchauffement climatique et les inquiétudes qu'il provoque ne datent pas d'hier. En 1995, la première Coopération des partis avaient lieu. Cette année, les dirigeants de différents pays du monde se sont regroupés pour mettre en place des mesures pour limiter le réchauffement climatique. Parmi ces différentes mesures, le protocole de Kyoto fut mis en place. Ce protocole avait pour but de réduire de 5% les émissions de gaz à effet de serre des pays industrialisés sur la période 2008-2012 comparé au niveau de 1990. Pour atteindre cet objectif le protocole de Kyoto met en place un mécanisme de quotas. Ces quotas sont attribués aux pays qui eux-mêmes les distribuent à leurs industries. Ces quotas donnent le droit d'émettre une tonne de CO<sub>2</sub> (ou CO<sub>2</sub> équivalent). Les entreprises doivent donc posséder ces quotas pour pouvoir émettre du CO<sub>2</sub>. Ce mécanisme a été mis en place en 2005.

L'objectif de ce mémoire est d'étudier la relation qui existe entre la mise en place du système des quotas carbone et les émissions de CO<sub>2</sub> en Europe et plus particulièrement pour les secteurs de l'industrie et de la production énergétique.

Ce mémoire répond donc à la question : La mise en place du système des quotas carbone a-t-elle eu un effet sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre en Europe sur la période 2005-2021 ?

Pour répondre à cette question, nous utiliserons différents modèles statistiques tels que la régression linéaire, la méthode des doubles différences et le test de Granger qui étudieront l'impact de la mise en place du système des quotas carbone sur les émissions carbone globales en Europe mais également des secteurs de l'industrie et de la production d'énergie.

Ce mémoire présentera tout d'abord un historique des émissions carbone en Europe et des différents secteurs d'activité. Ensuite, nous présenterons, le contexte de la mise en place des quotas carbone et le but recherché. Par après, nous présenterons le mécanisme des quotas carbone et les recherches documentaires liées à ce mécanisme. La deuxième partie de ce mémoire est une étude statistique. Dans cette partie, nous présenterons les données et les modèles utilisées, pour ensuite présenter les résultats de notre étude. Et en conclusion, nous présenterons nos résultats, nos limitations et proposerons des pistes de réflexion quant à ces résultats.

## L'évolution de la pollution en Europe

### Données historiques générales

Cette première section présentera un état des lieux de la pollution en Europe d'un point de vue historique. La Figure 1 présente un graphique reprenant l'évolution des émissions de gaz à effet de serre en équivalent CO2 en Europe de 1950 à 2021.

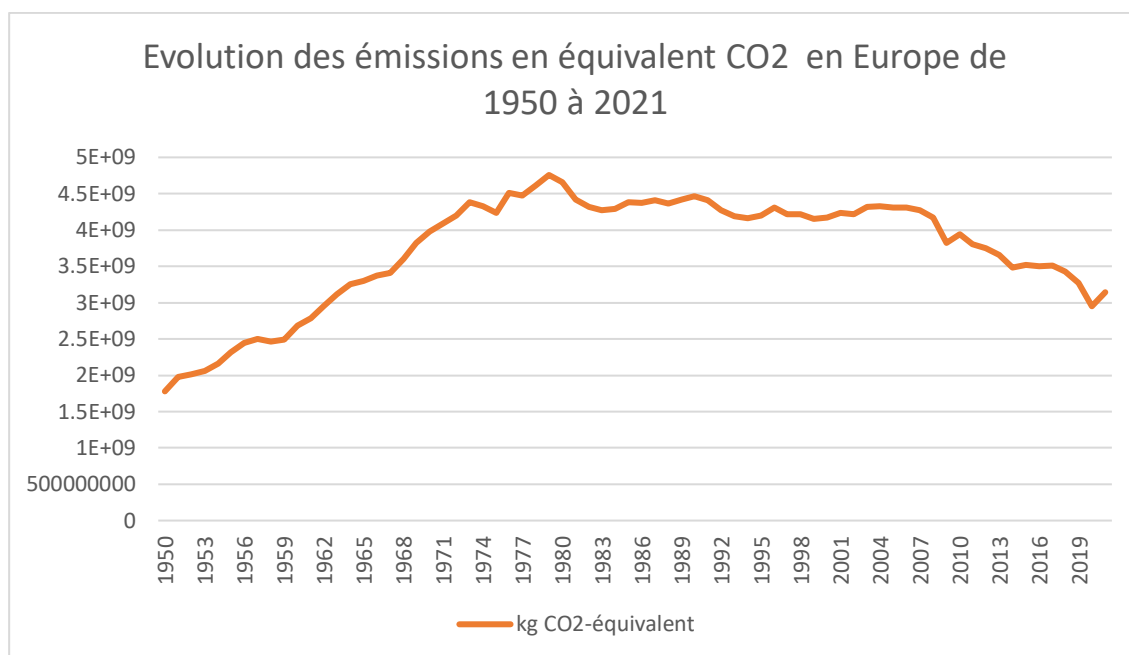


Figure 1 : Évolution des émissions en équivalent CO2 en Europe de 1950 à 2021

(Source : European Environment Agency)

Comme l'on peut observer sur ce graphique, les émissions de gaz à effet de serre ont connu une tendance à la hausse de 1950 jusqu'à 1980 atteignant un pic d'émissions annuels avant de connaître une baisse. L'augmentation des émissions de gaz à effet de serre jusqu'en 1980 est dû à différents facteurs dont l'augmentation de l'activité économique, l'industrialisation et l'urbanisation en Europe mais est également dû au mix énergétique utilisé en Europe (Henriques & Borowiecki, 2017).

Nous pouvons également noter que les fluctuations dans les années 1970 et 1980 peuvent être attribuées aux différentes crises que l'Europe a connu lors de cette période : crise financière et crise pétrolière qui ont engendré une baisse de la production et de la consommation d'énergie. Comme le montre Dong et al. (2019) dans leur étude sur l'analyse

des données sur la pollution, le facteur déterminant des augmentations des émissions de gaz à effet de serre reste le revenu.

Par la suite, les émissions de gaz à effet de serre se situent sur un plateau jusqu'en 2008. Bien que le PIB de la zone euro aie doublé sur cette période, les émissions de gaz à effet de serre n'ont pas suivi la même tendance, cette tendance peut s'expliquer grâce à des progrès techniques permettant d'utiliser moins d'énergie, un shift du mix énergétique mais également l'externalisation des émissions vers d'autres pays (Andreoni & Galmarini, 2016). A noter que la zone Euro connaît de grandes disparités aussi bien en termes de mix énergétique que de croissance du PIB.

À la suite de la crise financière de 2008, nous observons une tendance baissière des émissions de gaz à effet de serre.

Les émissions des gaz à effet de serre ont diminué de 30,41% en Europe en 2021 par rapport aux niveaux de 1990.

### Données historiques par secteur

Pour poursuivre notre analyse des émissions de gaz à effet de serre en Europe, nous allons maintenant observer les émissions historiques par secteur. La figure 2 présente ces données.

L'Agence européenne pour l'environnement (AEE) divise les émissions de gaz à effet de serre de l'Union européenne en 10 secteurs différents. Les définitions des différents secteurs sont basées sur les définitions du protocole de Kyoto. Voici les définitions de ces différents secteurs : «

- *Production de l'énergie : les émissions provenant de la combustion de combustibles fossiles pour la production d'électricité, le chauffage et la production industrielle.*
- *Industrie : les émissions provenant de la combustion de combustibles fossiles pour la production de biens et services, ainsi que les émissions provenant de processus industriels tels que la production d'acier et de ciment.*

- *Agriculture : les émissions provenant du bétail, de la gestion des terres et de l'utilisation des engrais.*
- *Déchets : les émissions provenant de la combustion des déchets et de la décomposition des déchets dans les décharges.*
- *Utilisation des terres et changement d'attribution et foresterie : les émissions provenant de la déforestation et de la dégradation des forêts.*
- *Autres combustion : les émissions provenant de sources diverses, telles que les puits de pétrole et de gaz, les installations militaires et les feux de forêt.*
- *Transport domestique : les émissions provenant des déplacements de personnes à l'intérieur d'un pays tels que les voitures, les motos, ...*
- *International aviation : les émissions provenant des avions lors des vols internationaux.*
- *Transport de marchandise international : les émissions provenant du transport de marchandises internationales telles que le transport maritime, routiers, ...*
- *Résidentiel et commercial : les émissions provenant des bâtiments résidentiels et des bâtiments commerciaux telles que la consommation d'énergie pour le chauffage, l'éclairage, ...*

»

(European environmental agency).

On peut observer sur la figure 2 :

Production de l'énergie : Ce secteur est le plus polluant. Il a connu une baisse des émissions de 21,91% en 2021 comparé aux niveaux de 1990.

Transport domestique : Ce secteur est le troisième plus polluant. Comparé à l'année de référence 1990, ces émissions de gaz à effet de serre ont augmenté de 16,30%.

Industrie : Ce secteur est le deuxième plus polluant. Il a connu une baisse de 35,47% comparé à l'année de référence en 1990.

Agriculture : Ce secteur a diminué ses émissions de 21,91% en 2021 comparé à 1990.

Déchets : Ce secteur a connu la plus grande diminution de ses émissions, la baisse est de 40,67% en 2021 comparé à 1990.

Utilisation des terres et changement d'attribution et foresterie : Ce secteur est le seul à absorber plus d'émissions qu'il n'en dégage. En 2021, il absorbait 10,15% plus d'émissions qu'en 1990. Cette augmentation d'absorption des émissions peut paraître être une bonne nouvelle mais est à tempérer sachant qu'en 2010 l'augmentation était de 68,67%. Il a donc connu une certaine hausse avec de diminuer.

Autres combustions : Ce secteur a diminué ses émissions de 26,09% entre 1990 et 2021.

L'aviation internationale : Les émissions de ce secteur ont augmenté de 28,94% entre 1990 et 2021.

Transport de marchandise internationale : Les émissions de ce secteur ont également augmenté de 26,41% entre 1990 et 2021.

Résidentiel et commercial : Les émissions de ce secteur ont diminué de 26,90% entre 1990 et 2021.

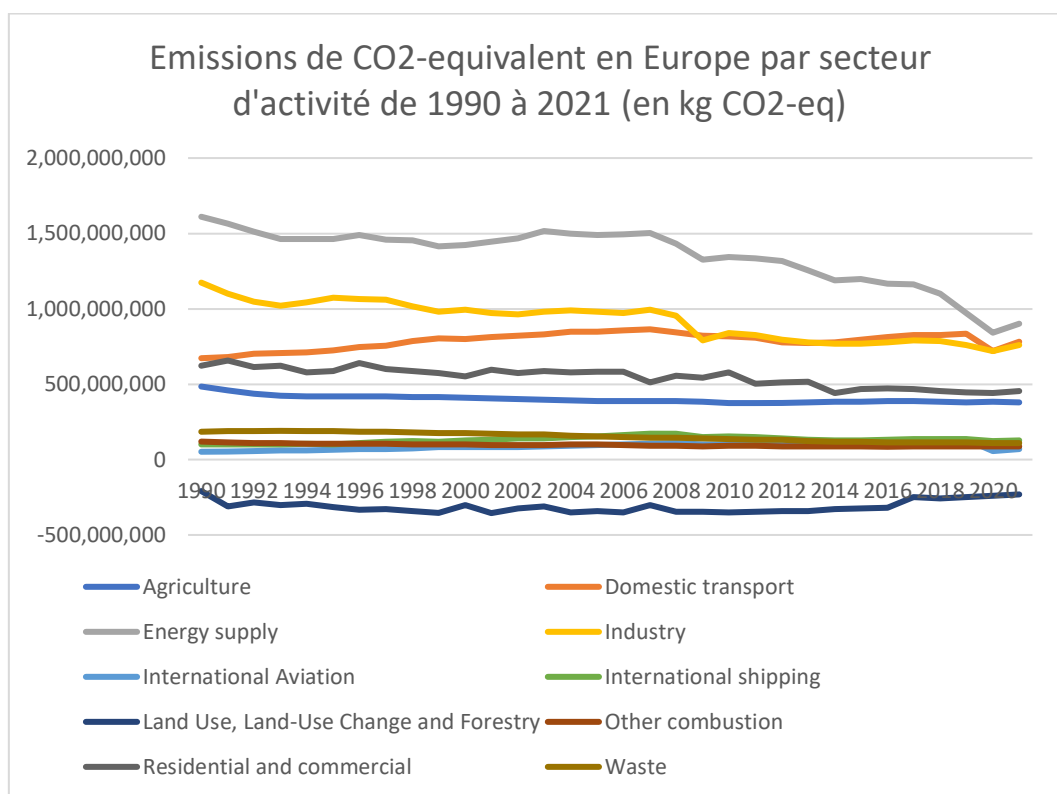


Figure 2 - Émissions de CO<sub>2</sub>-eq en Europe par secteur d'activité de 1990 à 2021

(Source : European Environment Agency)

Les secteurs d'activité ont évolué différemment sur la période étudiée. On peut remarquer différentes tendances.

La première, une tendance à la diminution des émissions de gaz à effet de serre. Cette tendance comprend les secteurs résidentiel et commercial, autres combustions, l'agriculture, l'industrie et la production de l'énergie.

La deuxième tendance est une tendance à la hausse. Les secteurs du transport de marchandises internationales, de l'aviation international et du transport domestique ont augmenté leurs émissions de gaz à effet de serre sur la période observée.

La troisième tendance correspond à un seul secteur, le secteur de l'utilisation des terres et de changement d'attribution et de la foresterie a augmenté les absorptions de gaz à effet de serre.

## Les différentes COP et leurs objectifs

Cette partie traitera des différentes « Conférences of the Parties » (COP) qui ont eu lieu, de leurs objectifs et des mesures qui ont été mises en place à la suite de celles-ci.

### Le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC)

Les COP sont des conférences organisées regroupant l'ensemble des pays, 198 au total (197 États et l'Union Européenne), qui ont signé la convention des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) à Rio en 1992 (Vincent, 2022). Cette convention et les COP qui en découlent font suite à la création en 1988 du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC). Ce groupe d'experts a été créé par deux institutions, les Nations Unies l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) (Vincent, 2023). Ce groupe d'expert a pour but d'évaluer les connaissances sur l'évolution du climat, ses causes et ses impacts. Pour ce faire, il livre des rapports fournissant un état des lieux des connaissances actuelles. Le GIEC évalue « sans parti pris et de manière méthodique et objective, l'information scientifique, technique et socio-économique disponible en rapport avec la question du changement du climat. Ces informations sont synthétisées à partir des recherches ou études effectuées par des scientifiques, des experts ou des organismes et publiées dans des revues scientifiques. » (Comprendre le GIEC, 2023).

Depuis sa création, le GIEC a produit six rapports. Le premier rapport a été publié en 1990, le deuxième en 1995, le troisième en 2001, le quatrième en 2007, le cinquième en 2014 et le sixième en 2023. Le sixième et dernier rapport du GIEC en date porte sur les connaissances acquises entre 2015 et 2021. Ce dernier rapport rappelle entre autres l'urgence de réduire nos émissions de gaz à effets de serres. En effet, pour parvenir à un taux net de CO<sub>2</sub> en 2050 et permettre de maintenir un objectif de 1,5°C, il faut réduire de 48% nos émissions d'ici 2030. Ce rapport conclue également une augmentation des risques pour une même niveau de réchauffement. Des risques tels que des vagues de chaleur, des précipitations extrêmes, des sécheresses, ... (Anne, 2023) On peut également citer que le 6<sup>e</sup> rapport du GIEC indique que si l'on continue d'user des énergies fossiles et si les investissements prévus dans ce type d'énergie est maintenu, la probabilité d'un réchauffement supérieur à 2°C est de 83% (Service Changements climatiques, s. d.).

Ce sont sur base de ces différents rapports que les différentes COP se basent lors de leurs discussions pour établir leurs objectifs climatiques dans le but de maintenir un réchauffement climatique en dessous ou égale à 1,5°C.

## Historique des COP

La première Conférence des parties COP s'est tenue à Berlin en 1995. Elle regroupait 160 pays et l'Union Européenne. À la suite de cette COP, il résulte une volonté des pays participants de montrer leur engagement à la cause climatique et qu'il prenait acte de la gravité de l'action humaine sur le climat. Le deuxième COP a eu lieu à Genève en 1996 à la suite de la deuxième publication du rapport du GIEC. Lors de celle-ci, les pays participantes ont acté que les changements climatiques représentent un danger pour l'humanité et ont pointé certaines activités humaines telles que l'utilisation des énergies fossiles, la modification des sols et l'agriculture qui les causaient. (Collard, s. d.)

## Le protocole de Kyoto

Lors de la troisième COP, en 1997, le protocole de Kyoto fut créé. Toutefois, celui-ci n'entre en vigueur qu'en 2005. A cette date, 182 des 192 pays ont ratifié, accepté, accédé ou approuvé le protocole. Ce protocole met en place des objectifs concrets et obligatoires de réduction de six gaz à effet de serre des pays industrialisés. Ces gaz sont le dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>, le méthane, CH<sub>4</sub>, l'oxyde nitreux NO<sub>2</sub>, l'hydrofluorocarbure HFCs, l'hydrocarbure perfluoré PFCs et l'hexafluorure de soufre SF<sub>6</sub>.

Le protocole de Kyoto prévoit une série de mesures contraignantes pour diminuer d'au moins de 5% les émissions des gaz à effet de serre entre 2008 et 2012 par rapport au niveau des émissions en 1990. Il est à noter que le protocole de Kyoto et cette mesure en particulier n'engage que les pays industrialisés. Les pays en voie de développement ne sont contraints que de limiter leurs émissions sans objectifs chiffrés. Le protocole s'applique à 37 pays industrialisés représentant 60% des émissions mondiales.

L'Union Européenne a également ratifié le texte et s'est donné un objectif de 8% par rapport à 1990. L'Union européenne a par la suite publié une fiche de répartition par pays pour atteindre cet objectif. Par exemple la Belgique avait un objectif de -7,5% sur la période. (*Protocole de Kyoto sur les changements climatiques - Sénat, s. d.*)

Ce protocole met également en place un système de suivi des objectifs de chaque pays et des sanctions résultantes, si le pays n'atteint pas ses objectifs. Les sanctions sont une pénalité sous la forme d'une réduction des quotas octroyés et l'obligation de rattraper l'écart lors de la période suivante. Toutefois si un pays n'atteint pas ses objectifs, il peut décider de se soustraire de ses obligations. La contrainte ne réside pas dans une forme de gendarme internationale possédant un pouvoir de contrainte mais plutôt de la pression des autres partis tels que les autres pays signataires ou encore l'opinion public (Collard, s.d.). Le Canada, en 2011, s'est retiré du protocole de Kyoto étant donné qu'il risquait de payer des pénalités de quatorze milliards de dollars pour ne pas avoir respecté ses engagements. En effet, le Canada a vu ses émissions augmentées sur la période alors qu'il s'était engagé à une diminution de 6% (Afp, 2011).

Le protocole met également en place un système mondial des droits d'émissions. À la suite de ce protocole chaque pays obtient un quota de d'émissions de gaz à effet de serre qu'ils se doivent de respecter. Un système d'échange international est mis en place permettant aux pays d'acheter et de vendre ces quotas d'émissions (Collard, s.d.).

Étant donné les objectifs ambitieux du protocole de Kyoto, trois mécanismes de flexibilité sont mis en place, ceux-ci ont pour but de faciliter la mise en place de réduction des émissions de gaz à effet de serre :

- Les échanges d'émissions, cités précédemment.
- Le Mécanisme de mise en Œuvre Conjointe (MOC) : ce mécanisme permet aux pays développés de réduire leurs émissions de gaz à effet de serre en investissant dans des projets dans des pays en développement. Ces projets doivent concerner l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables et la gestion des forêts. A la suite de la réalisation de ces projets, les pays reçoivent des crédits d'émissions. Les crédits d'émissions acquis par les pays peuvent par la suite être utilisés par les pays pour atteindre leurs objectifs d'atténuation des émissions ou être vendus sur le marché des crédits d'émission et refinancer, par exemple de nouveaux projets.
- Le Mécanisme de Développement Propre (MDP) : ce mécanisme est semblable au précédent si ce n'est qu'il existe des critères supplémentaires. Ce mécanisme est plus strict que le précédent et doit respecter des critères telles qu'une aide aux communautés locales, un aspect durable du projet, ... Ce mécanisme doit également être approuvé par le Comité d'administration de développement propre (CDM). (United Nations Framework Convention on Climate Change, s. d.)

Sur cette période, l'Union Européenne a atteint et même dépassé cet objectif en réduisant de 11,7% ces émissions. Toutefois ce n'est pas le cas pour l'ensemble des signataires, des pays tels que les Etats-Unis ont signé le protocole mais leur organe politique interne ne l'a pas ratifié ou encore le Canada, cités précédemment, qui s'est retiré du protocole de Kyoto en 2011. En 2010, au niveau mondial, les émissions de gaz à effet de serre ont finalement augmenté de 29%. De plus les 38 pays industrialisés ne représentaient plus que 36% des émissions mondiales (*Qu'est-ce que le Protocole de Kyoto ?*, 2022).

En 2012, la COP18 de Doha a permis d'entrer dans la deuxième phase du protocole de Kyoto et réaffirmé l'objectif de réduire les émissions de gaz à effet de serre, cette fois-ci sur la période 2013-2020 comparé à la période de référence en 1990. Cet objectif est de 18%. Mais la deuxième partie du protocole de Kyoto connaît les mêmes problèmes structurels que la première phase, on peut par exemple citer : aucune réelle mesure contraignante, aucune sanction et un nombre limité de pays sont concernés par les mesures « contraignantes », en 2015 les parties visés par cette deuxième partie du protocole ne représentaient que 11,5% des émissions de GES. (CITEPA, 2020)

### L'Accord de Paris

L'Accord de Paris est un traité international juridiquement contraignant sur les changements climatiques. Ce traité a été adopté lors de la COP21, à Paris, en 2015 et est entré en vigueur en 2016. Comme les précédents traités, son principal but est de mettre en place des solutions et des procédés pour maintenir l'augmentation de la température moyenne mondiale en dessous des 2°C. L'Union Européenne a travers cet accord s'engage une nouvelle fois à être neutre carbone d'ici 2050. A la différence du protocole de Kyoto, cet accord est juridiquement contraignant et s'appuie sur le droit international. De plus, cet accord concerne l'ensemble des pays signataires et plus seulement les pays développés mais prend tout de même en compte les responsabilités historiques et les capacités de chaque pays (Service Changements climatiques, s. d.-b).

L'accord de Paris a trois objectifs : l'atténuation, l'adaptation et la coopération. L'atténuation signifie que les pays s'engagent à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre. L'adaptation, les pays s'engagent à s'adapter aux effets du réchauffement climatiques actuels et futurs. Et la coopération, les pays s'engagent à partager les connaissances et les technologies avec les pays en voie de développement pour les aider dans leur lutte pour contre le réchauffement climatique.

L'Accord de Paris met en place un plan d'action climatique appelé contributions nationales déterminées (NDC). Chaque pays doit communiquer les mesures qu'ils mettront

en place pour réduire leurs émissions de gaz à effet de serre dans leur NDC. Ces contributions doivent être revues à la hausse tous les cinq ans.

## Le système des quotas

L'Union Européenne pour lutter contre les émissions de gaz à effet de serre a décidé d'utiliser un mécanisme, un système d'Échange des Quotas Européens (SEQE) ou European Union Emissions Trading Scheme (EU ETS). Ce mécanisme repose sur le principe de quotas ou permis de polluer, un quota représente le droit d'émettre une tonne de CO<sub>2</sub>. Selon le secteur et la phase en cours du mécanisme, une partie est donnée gratuitement aux entreprises du secteur et une autre mise aux enchères. Les entreprises peuvent également s'échanger ces quotas sur les places de marché dédiées, directement entre entreprises ou via des intermédiaires, ou de gré à gré. De plus, les entreprises peuvent également stocker leurs quotas d'une année à une autre si ces années sont comprises dans la même phase du mécanisme. A ce jour, plus de 12 000 installations sont touchées par ce mécanisme et représentent 50% des émissions de GES dans l'Union Européenne (Leclerc, 2022).

Pour ce que ce marché fonctionne, le montant de quotas attribué annuellement doit être inférieur au montant des émissions qui auraient été produites si ce marché n'existait pas. On parle de système « Cap and Trade ». Les autorités fixent un plafond (le cap) d'émissions et fixent un nombre de quotas qu'ils distribuent selon les secteurs pris en compte dans le mécanisme aux entreprises concernés. Et la partie Trade, les entreprises peuvent par la suite échangés ces quotas sur un marché. Ce système donne une valeur économique à ces quotas qui deviennent une ressource limitée. Ce système repose donc sur deux piliers : l'un économique et l'autre écologique. Le pilier économique, il faut que ce système permette aux entreprises de se conformer aux exigences environnementales aux prix le plus bas et donc d'avoir la solution du moindre coût, le but étant de ne pas pénaliser les entreprises européennes. Et le pilier environnemental, le but de ce mécanisme est de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Selon Schmalensee et Stavins (2017), ce type de système s'il est correctement implémenté permettrait d'atteindre les objectifs économiques et écologiques. Ils rajoutent toutefois que la performance de ce type de système dépend de manière très importante de l'environnement économique dans lequel il évolue. De plus, pour que ce système soit optimal il faut réduire au maximum la volatilité du prix mais une certaine volatilité peut être tolérée étant donné que cela augmente le risque d'augmentation du coût et donc l'incident à réduire les émissions carbone. De plus, plus les différences de coût entre les différentes entreprises sont grandes, plus il y a de chance qu'une approche de marché permette un gain comparé à d'autres approches telles qu'une interdiction (Newell & Stavins, 2003). Toutefois, un système de marché implémenté par un état qui subirait donc des pressions politiques et du lobbying ne pourrait pas diminuer suffisamment vite les quotas pour atteindre les objectifs de réduction d'émissions carbone (Samaras et al., 2009).

Ce type de mécanisme permet également de meilleure avancée technologique qui n'aurait pas eu lieu avec des systèmes plus rigides comme une interdiction pure et simple (Keohane, 2003). L'avancement technologique comme vecteur pour réduire les émissions carbone à la suite de la mise en place d'un système de quotas carbone aurait déjà permis de réduire les émissions carbone en Chine. En plus d'avoir permis une réduction des émissions carbone dans les zones où ce système a été mis en place, l'avancée technologique induit par la mise en place de ce système s'est répandue aux régions avoisinantes permettant de nouveau une réduction des émissions carbone (Dai et al., 2022). Mais une approche unique par un système de marché ne serait pas suffisante et ne permettrait pas d'inciter suffisamment pour investir dans des technologies à long-terme moins polluantes (Samaras et al., 2009).

Ce système permettrait donc de garantir que les réductions d'émissions se font au coût le plus bas possible et donc là où elles sont le moins chères. Ce mécanisme permettrait de minimiser finalement le coût total de la politique climatique. Les entreprises peuvent donc soit, réduire leurs émissions pour ne pas devoir acheter de quotas supplémentaires. Cette idée suppose que le coût d'acheter ces quotas soient supérieurs à celui de réduire ses émissions. Et par après pouvoir envisager de vendre leurs surplus de quotas et donc réaliser un gain ou à l'intérieur d'une même phase stocker ces quotas d'une année à l'autre. Soit, elles

ne sont pas capables de réduire leurs émissions et se retrouvent dans l'obligation d'acheter des quotas sur le marché. Ce mécanisme entraîne qu'une entreprise devra faire l'arbitrage entre réduire ses émissions ou acheter des quotas. Cet arbitrage se fait donc en fonction du coût des quotas d'émissions actuels et futurs et du coût marginal des investissements pour réduire leur émission. Au fur et à mesure que le marché évolue, un coût d'opportunité se développe pour polluer et étant donné que toutes les firmes ont le même coût, elles vont minimiser leurs coûts et tendre vers une égalisation des coûts marginaux entre entreprises (Schmalensee & Stavins, 2017). Selon Montgomery (1972), ce type de mécanisme permet d'atteindre les seuils de pollution déterminés avec un minimum de coût pour le collectif sous certaines conditions assez strictes et donc d'obtenir un nouvel équilibre concurrentiel.

On peut noter que la taxation est également un mécanisme possible qui permettrait l'obtention d'un nouvel équilibre. Dans les deux cas, les entreprises égaliseraient leur coût marginal à la nouvelle taxe introduite ou au coût du quota. La différence se situe lorsqu'un nombre de quotas est mis en place, le prix d'équilibre est établi par les acteurs. Alors que pour la taxation, le prix est décidé par les autorités mais elles ne décident pas du niveau de pollution à la suite de la mise en place de cette taxation. Les autorités publiques ne savent pas la réponse des acteurs face à cette taxation et devront donc ajuster la taxe (Berta, 2010). Toutefois selon Drake et al. (2012) un système de cap and trade serait plus efficace qu'un système de taxation étant donné l'incertitude du coût des quotas. En effet avec un système cap and trade, les coûts des quotas futurs sont inconnus ce qui motiverait les entreprises à investir dans des technologies moins émettrices de carbone. Cette théorie est contredite par l'étude de Candelon and Hasse (2023), celle-ci démontre que la mise en place de taxe carbone est la seule politique qui permettrait une réduction des émissions carbone sur le long terme. Cette étude étudie la mise en place de trois différents types de politique en Suède, la taxe carbone, l'EU ETS et le protocole de Kyoto. Il en ressort que seul la taxe carbone granger cause une diminution des émissions. Le choix d'un système cap and trade ou un système de taxation n'est pas binaire, soit l'un soit l'autre. On pourrait également envisager un système hybride qui combinerait les deux systèmes. Ce type de système hybride serait même supérieur à un système unique (Mandell, 2008).

Un autre problème qui survient dans le choix entre un système cap and trade ou la mise en place d'une taxe carbone est la difficulté de s'accorder sur la taxe ou le nombre de quotas. La mise en place de ce système suppose d'accorder les volontés politiques de chaque pays sur ces quantités. Les différents pays doivent s'accorder sur soit la quantité de quotas, soit un prix. La mise en place des quotas par pays est plus complexe à mettre en place que le choix d'un prix global entraînant une réduction de l'efficacité d'un système de quotas comparé à celui d'une taxe (Nordhaus, 2019). Un autre argument en faveur d'un système cap and trade est que ce système est orienté entreprises et permettrait de créer des emplois (Harrison & Smith, 2009)

Les quotas sont distribués suivant la méthode « les droits du grand-père ». Ils sont lors de la phase 1 distribués gratuitement et en fonction des émissions récentes et sur base de modèle de projection pour les années à venir. Ces modèles de projection sont d'ailleurs dépendant de variables comme la croissance économique, l'activité économique et la météo. Si certains quotas sont distribués gratuitement lors des premières phases, c'est d'une part pour ne pas fragiliser la compétitive des entreprises de ce secteur et d'autre part, pour éviter une fuite des émissions carbone vers d'autres pays qui ne seraient pas touchés par ce type de mécanisme et entrainerait donc une action contre-productive (Leclerc, 2022). Toutefois, la mise en place du système de quota gratuit dans un premier temps permettrait une meilleure adhésion des secteurs concernés (Schmalensee & Stavins, 2017) mais cette pratique est contre-productive au regard du but qui est la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Les pays doivent donc s'efforcer de mettre en place des politiques pour augmenter les prix de ces quotas le plus rapidement possible (Nordhaus, 2019).

Lors de la phase 1, chaque pays définit le nombre de quotas distribué sur son territoire sous la forme d'un plan d'allocation national qui est soumis à l'accord de la Commission Européenne. A noter que lors des allocations des quotas aux différents secteurs, certains secteurs ont été privilégiés au détriment d'autres secteurs. Par exemple, les secteurs de l'énergie ont été défavorisés en faveur des secteurs de l'industrie. Pour les raisons citées précédemment, le secteur de l'énergie subit moins la concurrence internationale et ne peut pas externaliser sa pollution vers d'autres pays (Berta, 2010). Cette tendance des pays à continuer de favoriser leurs propres intérêts et leurs propres secteurs d'activité est un frein

pour atteindre un objectif mondial de neutralité carbone, il faudrait donc la création non pas d'un système européen, d'un autre système chinois ou encore américain mais un système global et mondial qui mettrait également en place des sanctions pour les pays qui refusent de participer au système tout en accordant des avantages aux pays participants. La mise en place de ce type d'accords internationaux serait plus efficace comparé à des accords qui ne sanctionnent pas les pays non-participants. Il faudrait également inclure l'ensemble des secteurs économiques dans ces politiques de réduction d'émissions et non pas seulement certains secteurs (Nordhaus, 2019).

## La mise en place des quotas carbone

Comme présenté précédemment, le protocole de Kyoto a mis en place des contrats carbone, des permis de polluer. Ceux-ci peuvent s'acheter sur un marché. La figure suivante présente le prix de ces contrats en fonction du temps de 2005 à 2023.

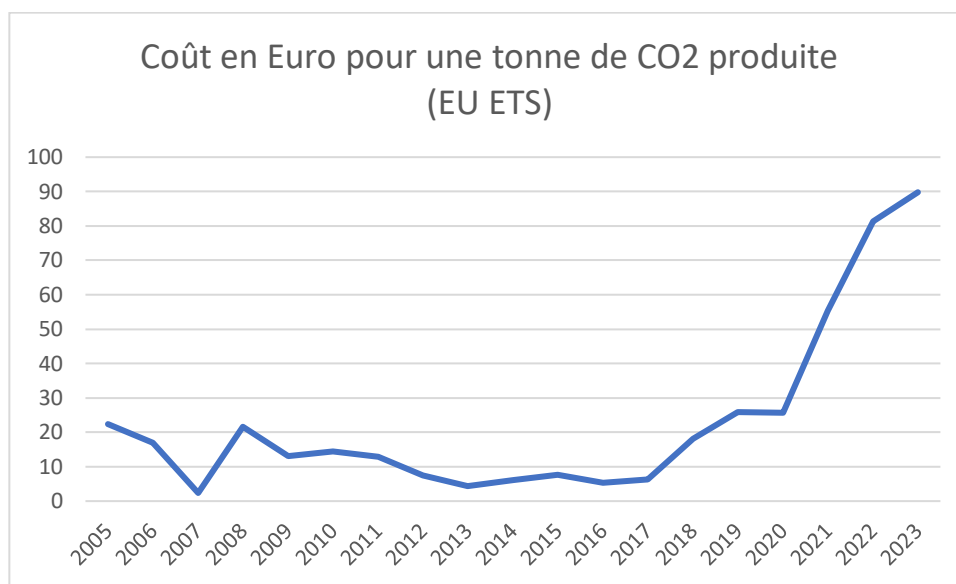


Figure 3 - Coût en Euro d'une tonne de CO2 produite (EU ETS) (Source : (TRADING ECONOMICS, s. d.))

Le système européen d'échange de quotas d'émissions s'est déroulé en plusieurs phases. Ce mécanisme oblige les entreprises à obtenir des quotas d'émissions pour couvrir leurs émissions carbone. La manière d'allouer ces quotas varient en fonction des différentes phases du mécanisme qui vont être présentées ci-après.

La phase 1 (2005-2007) : mise en place du système et évaluation de son efficacité. Lors de cette phase, le prix des quotas a connu une tendance baissière pour atteindre un prix proche de 0 en 2007, ce type de contrat ne concernait également que certains types d'industries ; les installations de production d'électricité et de chaleur. Ceci s'explique par plusieurs facteurs. Ces contrats fonctionnent sur le principe d'offre et demande, on peut observer d'une part une trop grande offre : une surévaluation des quotas a entraîné un excédent qui a poussé les prix vers le bas. Cette surévaluation peut être dûe entre autres par une prévision trop optimiste des émissions futures. En effet, les autorités ont émis plus de quotas que nécessaire et les ont donnés gratuitement sur la période observée. L'incertitude face à ce type de nouveau marché quant à la réglementation futures a pu également décourager les acteurs qui n'ont pas investi ce marché baissant également la demande. Et d'autre part, la demande a également été moins forte dûe entre autres à la crise financière de 2008 qui a baissé la consommation et donc les émissions et finalement le besoin de ce type de contrat. (*Système d'échange de quotas d'émission : Cibler l'allocation de quotas à titre gratuit, s. d.*). De plus étant donné l'offre surabondante des quotas et que ceux-ci étaient donnés gratuitement aux entreprises, la surabondance de ceux-ci a permis à certaines entreprises de revendre le surplus et de se créer une rente. La première année de mise en place du système, le surplus fut de 156 millions de tonnes, 37 millions de tonnes en 2006 et 36 millions de tonnes en 2007.

La phase 2 (2008-2012) : les prix ont été compris entre 20 euros en 2008 jusqu'à 7 euros en 2012. Lors de cette phase de nouvelles industries ont été incluses dans ce marché tels que le raffinage de pétrole, la production de ciment, la production chimique, ... Lors de cette phase, comme la précédente, l'offre était en surplus entraînant également un nivellement vers le bas des prix. Toutefois, l'allocation gratuite de nouveaux quotas a été réduite forçant les acteurs à se tourner vers le marché. De plus, la demande a également été impactée par la mise en place d'un nouveau mécanisme permettant aux acteurs de se tourner vers des crédits internationaux et donc d'acquiescer des crédits de réduction des émissions en investissant dans des projets de réduction des émissions dans des pays en développement (*Système d'échange de quotas d'émission : Cibler l'allocation de quotas à titre gratuit, s. d.*).

La phase 3 ( 2013 – 2020) : lors de cette phase, le prix est passé de 7 euros à un peu plus de 25 euros. Cette phase a été marquée par une nouvelle réduction progressive des plafonds globaux d'émissions accordés, les quotas d'émissions ont été réduits de 13% par rapport à 2005, mais également des quotas donnés gratuitement. L'Union Européenne, en 2013, a vendu 40% des quotas aux enchères. D'autres mécanismes pour permettre à l'Union Européenne de réguler le marché ont également été mis en place permettant à l'UE de réguler le nombre de quotas sur le marché. En 2019, un nouveau mécanisme est mis en place, la réserve de stabilité du marché. Ce mécanisme permet de retirer le surplus de quotas sur le marché du carbone, afin d'éviter entre autres une chute des prix. Son action est comparable à celui d'une banque centrale des quotas. A la suite de la mise en place de ce mécanisme, 397 millions de quotas ont été retirés du marché, représentant 24% des quotas en circulation. (*Système d'échange de quotas d'émission : Cibler l'allocation de quotas à titre gratuit, s. d.*).

La phase 4 ( 2021 à 2030) : cette phase est actuellement en cours. Les quotas sont passés de 55 euros en 2021 à presque 90 euros en 2023. Comme les précédentes phases, cette phase a connu une réduction des plafonds d'émissions, les quotas d'émissions devraient être réduits de 43% par rapport à 2005. (*Système d'échange de quotas d'émission : Cibler l'allocation de quotas à titre gratuit, s. d.*).

Le marché des quotas d'émissions s'est développé rapidement avec l'émergence de plateformes d'échanges et d'une loi du prix unique pour les permis de mêmes types. On remarque également une grande volatilité des prix et un nombre de transactions importantes. Ces grandes volatilités des prix posent des questions quant à sa capacité à inciter les acteurs du marché à changer leur comportement et investir pour moins polluer particulièrement lors des deux premières phases.

## Partie empirique

### Problématique et hypothèses

La question de recherche concerne la mise en place des quotas carbone et leur efficacité pour réduire les émissions de GES par les secteurs touchés dans l'Union Européenne. Ce travail pose la question de son efficacité en fonction des secteurs touchés.

Pour répondre à cette problématique, différentes hypothèses ont été formulées :

1. Le mécanisme des quotas carbone a permis une réduction des émissions carbone dans les secteurs touchés par ce mécanisme.
  - a. La réduction des émissions est corrélée au prix des quotas
  - b. La réduction n'est pas corrélée au prix des quotas mais sa mise en place a tout de même eu un effet par secteur.
  
2. La mise en place des quotas carbone a permis une réduction globale des émissions de carbone indépendamment des secteurs d'activité.
  - a. La réduction des émissions est corrélée au prix des quotas
  - b. La réduction n'est pas corrélée au prix des quotas mais sa mise en place a tout de même eu un effet.
  
3. La mise en place des quotas carbone n'a pas eu d'effets sur les émissions de gaz à effet de serre.

### Choix des données

Dans le cadre de ce mémoire différentes bases de données ont été utilisées. La première base de données utilisé provient de l'Agence environnementale Européenne. Cette base de données contient les émissions en gaz à effet de serres des 27 pays membres de l'Union Européenne (Hors Royaume-Unis) de 1990 à 2021 annuellement. Cette base de données est également divisée en fonction des émissions par secteur. Les différents secteurs

sont l'agriculture, la production d'énergie, le transport domestique, l'industrie, les déchets, la foresterie et l'utilisation des terres, l'aviation internationale, le transport de marchandises internationale, les autres types de combustion, le secteur résidentiel et commercial et les déchets. L'explication des différents secteurs a été traitée précédemment. Les données sont basées sur l'inventaire des GES soumis par l'UE à la CCNUCC. L'inventaire GES de l'UE comprend la somme directe des inventaires nationaux compilés par les États membres. Ce breakdown par secteur est directement proposé par l'agence environnementale européenne. On peut donc remarquer que cette division n'est pas optimale au regard des secteurs touchés par le mécanisme des quotas. Dans le cadre de notre étude, on ne considère que les secteurs principalement touchés par le mécanisme des quotas qui sont les secteurs de la production d'énergie et l'industrie.

Le deuxième set de données est le prix annuel des quotas carbone sur le marché. On considère les prix de l'EU ETS sur la période 2005-2021 avec une temporalité annuelle. La raison de prendre les prix des quotas annuellement est dû au fait que les registres d'émissions carbone ne publient leur base de données que sur base annuelle. Si on considère les prix sur le marché sur l'ensemble de la période observée sans prendre en compte par exemple les quotas donnés gratuitement, cela est dû au fait que le prix des quotas carbone représente le coût qui doit inciter les industriels lors de leur prise de décision de soit continuer à polluer, soit investir pour émettre moins de carbone.

## Variables

Les variables indépendantes sont les émissions de gaz à effet de serre des pays européens par secteur et globales. La variable dépendante représente les prix des quotas carbone sur le marché (EU ETS).

Dans le cas de séries temporelles, il est important de travailler avec des séries stationnaires. Une série stationnaire est une série dont la moyenne, la variance et l'autocorrélation ne varie pas avec le temps. Pour rendre ces différentes séries stationnaires, nous réalisons une transformation différence d'ordre 1. Cela consiste à soustraire chaque valeur avec la précédente.

## Méthodologie

Cette section présentera les différents modèles statistiques utilisés.

### La régression linéaire

La régression linéaire simple a pour but d'expliquer une variable Y en fonction d'une variable X. La variable Y est dite dépendante et le variable X est dite indépendante ou explicative. A noter que l'existence d'une relation n'implique pas forcément une causalité entre ces deux variables. La technique d'estimation des paramètres de cette régression est la technique des moindres carrées. Le modèle linéaire résultant est du type :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon$$

Où :

$\beta_0$  : l'intercepte, représente la valeur de Y lorsque toutes les variables explicatives sont égales à 0

$\beta_1$  : le coefficient de régression, celui-ci indique comment les variables explicatives influencent les variables dépendantes.

### La méthode des doubles différences

La méthode des doubles différences est une méthode statistique utilisée pour estimer l'effet d'un traitement. Cette méthode consiste à comparer la différence entre un groupe de contrôle et un groupe traité avant et après l'introduction d'un traitement. Cette technique est utile dans le cas où l'échangeabilité entre le groupe contrôle et le groupe traité ne peut être assurée. Cette méthode assume que les deux groupes suivent la même tendance suivent la même tendance avant la mise en place du traitement. Pour s'assurer de la robustesse des résultats et tester la sensibilité du modèle, différents tests peuvent être mis en place, tels que le changement de date de la mise en place du traitement et l'utilisation d'un faux groupe de traitement.

La droite de régression obtenue pour ce type de modèle est du type :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \text{Treaté} + \beta_2 \text{Période} + \beta_3 \text{Treaté} * \text{Periode} + \varepsilon$$

Où :

Y : la variable dépendante

Treaté : variable binaire prenant la valeur 1 si l'observation correspond au groupe traité et 0 sinon.

Période : variable binaire prenant la valeur si l'observation est après la mise en place de la mesure

*Treaté \* Période* : variable binaire représentant le groupe traité après la mise en œuvre du traitement

$\beta_0$  : intercept égale à la valeur de la variable dépendante lorsque toutes les variables dépendantes sont égales à 0

$\beta_1$  : coefficient mesurant l'effet moyen de la mesure avant la mise en place

$\beta_2$  : coefficient mesurant l'effet moyen du temps

$\beta_3$  : coefficient mesurant l'effet causal du traitement sur la variable dépendante après l'intervention

### Test de Granger

Le test de causalité de Granger est une méthode statistique qui teste si une variable X Granger-cause une variable Y, si la connaissance des valeurs passées de X améliore la précision de Y. Ce test de causalité est un test de significativité globale des coefficients associées aux valeurs passées de la variable X dans l'équation de la variable Y. Ce test suppose également que les données sont des séries temporelles stationnaires. De plus ce test ne permet pas d'établir un lien causal entre les deux variables.

On suppose X et Y deux séries temporelles stationnaires. Pour tester l'hypothèse nulle, c'est-à-dire que X n'est pas Granger-causale sur Y. On utilise le modèle des moindres carrés suivant :

$$Y_i = \alpha_0 + \sum_{j=1}^m \alpha_j y_{i-j} + \sum_{j=1}^m \beta_j x_{i-j} + \epsilon_i$$

Où :

$\alpha_j, \beta_j$  : coefficient de régression du modèle

Le but est de tester l'hypothèse nulle que  $\beta_j = 0$  pour tout  $j$ . Lorsque l'hypothèse nulle est rejetée, on peut conclure que X granger-causes Y.

## Résultats

Cette section présentera les différents résultats obtenus en fonction des modèles.

### Modèle de régression linéaire

Le premier modèle statistique utilisé est celui de la régression linéaire. On a effectué trois régressions différentes avec trois sets de données différentes. On a régressé les émissions de carbones en Europe globale, les émissions du secteur de l'industrie et finalement du secteur de la production d'énergie sur le prix des EU ETS. Le but de cette régression est de comprendre si un lien existe entre le prix et les émissions. Les résultats obtenus sont sur la figure 4.

Variabes	Intercept	Coefficient de la régression	R <sup>2</sup>	P-valeur
Emissions globales en Europe	-66777978	3346192	0.07502	0.3046
Emissions du secteur de l'industrie	-16236794	1090908	0.06189	0.3528
Emissions du secteur de l'énergie	-37906885 *	573022	0.01269	0.6778

Signif. codes : p-valeur = 0 : '\*\*\*', 0.001 : '\*\*', 0.01 : '\*', 0.05 : '.', 0.1 : ''

Figure 4 - Résultats des différentes régressions linéaires

Les résultats de ces régressions nous indiquent que concernant les coefficients des différentes régressions, étant donné qu'ils ont tous une p-valeur supérieur au niveau de significativité de 0,05, mise à part l'intercept de la régression sur les émissions du secteur de l'énergies, ces coefficients ne sont pas significativement significatifs, nous ne pouvons donc

pas affirmer avec certitude que le prix de l'EU ETS a un effet significatif sur les émissions globales en Europe et sur les secteurs de l'énergie et de l'industrie.

Le coefficient de détermination R-carré est inférieur à 10% pour les 3 régressions. Cela signifie que les différents modèles expliquent pour moins de 10%, la variation totale des différentes variables dépendantes (les émissions).

La p-valeur du test de Fisher testant l'hypothèse nulle que tous les coefficients de la régression sont égaux à zéro est supérieur au niveau de significativité de 0,05 pour les trois régressions. Nous ne pouvons donc pas rejeter l'hypothèse nulle et concluons que les différents modèles ne sont pas statistiquement significatifs.

### Modèle des doubles différences

Le modèle des doubles différences nous permet d'estimer l'effet de la mise en place des quotas. Pour tester cet effet, nous avons utilisé une base de données reprenant l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre par pays de l'Union Européenne et divisée par secteur d'activité. Nous avons divisé les secteurs en deux groupes, les secteurs ayant subi la mise en place des quotas (l'industrie et la production d'énergie) et les autres qui seront le groupe de contrôle, ces secteurs sont les secteurs résidentiel et commercial, déchets et autre combustion. Ces secteurs ont été choisis sur base de leur tendance à réduire les émissions carbonées. En effet, une des hypothèses pour le modèle des doubles différences est que les tendances du groupe traité et du groupe de contrôle sont équivalentes. Nous avons considéré l'année de 2005 comme celle de la mise en place des quotas. Le tableau suivant reprend les résultats de ce modèle.

Intercept	Coefficient de la variable des secteurs traités	Coefficient de la variable de la mise en place du traitement	Coefficient représentant la différence de différence estimée	R-carré
73373	293087	93279	538828 *	0.01052

Figure 5 - Résultat de la méthode des doubles différences

Signif. codes : p-valeur = 0 : '\*\*\*', 0.001 : '\*\*', 0.01 : '\*', 0.05 : '.' ,0.1 : ''

Ces résultats nous informent que le coefficient pour la variable année de traitement a une p-valeur supérieur au niveau de significativité de 0,05 ce qui signifie que l'année de traitement n'a pas d'effet statistiquement significatif sur les émissions et qu'il n'existe pas de différence entre le groupe de contrôle et le groupe traité. L'interaction entre l'année du traitement et le statut du traitement suggère également qu'il existe une différence significative des secteurs ayant subis la mesure après le traitement comparé aux autres secteurs étant donné que la p-valeur est inférieure au niveau de significativité de 0,05. L'effet causal de la mise en place des quotas sur les émissions des secteurs traités est de 538 828. Il existe donc une diminution significative des émissions des secteurs traités après la mise en place des quotas sans que l'année de la mise en place ait un effet significatif. Toutefois ce résultat est à relativiser, étant donné le très faible R-carré du modèle.

Modèle	Intercept	Coefficient de la variable des secteurs traités	Coefficient de la variable de la mise en place du traitement	Coefficient représentant la différence de différence estimée	R-carré
Vrais secteurs traités / Fausse année de traitement	443696***	-385669 *	110256	-102042	0.00519
Faux secteurs traités / Vraies années	-385669**	-208277	496220***	-502665*	0.008804
Faux secteurs traités / Fausse année de traitement	443696***	-385669*	110256	-102042	0.001054
Vrais secteurs traités / Fausse année de traitement	69628	549502***	60770	21672	0.007932

Figure 6 - Résultat des test de sensibilité de la méthode des doubles différences

Signif. codes : p-valeur = 0 : '\*\*\*', 0.001 : '\*\*', 0.01 : '\*', 0.05 : '.', 0.1 : ''

Pour tester la sensibilité du modèle, différentes variations du modèle en changeant le groupe traité et la date de la mise en place de la mesure ont été effectués. Tout d'abord, nous avons considéré comme groupe traité, les secteurs des déchets et des autres combustions.

Ensuite, nous avons changé la date de la mise en place du traitement à 2000. Sur base de ces deux variations, différents modèles de doubles différences ont été effectués.

Au regard de ces tests de sensibilité, on peut remarquer que lorsque l'on change les secteurs du groupe témoin sans changer la date de mise en action des mécanismes, le modèle montre qu'il existe également un effet sur les émissions carbonées de ce nouveau groupe. Le modèle montre à un niveau de significativité de 0,05, une augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> de 502 665 pour les secteurs des déchets et des autres combustions. Ce modèle a également un R-carré 0.008804. Ce R-carré étant très faible, il nous suggère que d'autres variables devraient être prise en compte pour augmenter la fiabilité du modèle.

Ce qui nous amène à conclure que la mise en place des quotas aurait eu un effet sur les émissions des gaz à effet de serre en Europe pour les secteurs de l'industrie et de la production d'énergie ou en tout cas concorde avec un autre effet ou une autre variable que nous n'avons pas pris en compte. Mais ce résultat est à relativiser à la vue du faible R-carré la diminution observée dans le groupe traité après 2005 est très probablement due à un autre effet étant donné que lorsque l'on change les secteurs du groupe traité, on observe également un effet en 2005. Au regard des faibles R-carré pour chacun des modèles, d'autres variables explicatives devraient être ajoutées au modèle pour une meilleure représentation des effets sur les émissions de gaz à effet de serre.

### Le test de Granger

Le test de Granger permet d'évaluer s'il existe une relation de causalité entre deux séries temporelles. Nous avons réalisé trois modèles pour déterminer si le prix de l'EU ETS granger-causes les émissions de GES en Europe et selon les secteurs de l'industrie et de la production d'énergie.

Modèle	P-valeur
Émission globale en Europe	0.1415
Secteur de l'industrie	0.8252
Secteur de la production d'énergie	0.4469

*Figure 7 - Résultat des tests de Granger*

Les résultats pour les trois modèles montrent que le test de Granger ne rejette pas l'hypothèse nulle de non-causalité. La p-valeur associée à chaque modèle est supérieure au niveau de significativité de 0,05. On peut donc en conclure que ce test ne démontre pas que les prix EU ETS granger-causent les émissions globales de GES de l'Union Européenne ni des secteurs de l'industrie ou de la production d'électricité.

## Limitations et conclusion

Le but de cette étude est de démontrer s'il existe une relation entre la mise en place des quotas carbone et la réduction des émissions de gaz à effet de serre en Europe. Pour effectuer cette étude, nous avons utilisé deux sources de données, les émissions de gaz à effet de serre en Europe réparties par secteur et les prix de l'EU ETS, ce prix représente le coût de produire une tonne de CO<sub>2</sub>. Nous avons utilisé différents modèles statistiques pour tenter d'établir s'il existait une relation entre ces deux variables ; la régression linéaire, le modèle des doubles différences et finalement le test de Granger.

A la suite de ces différents tests, il ressort qu'aucun modèle ne peut expliquer de manière statistiquement significative la relation entre ces deux variables. Seul le modèle des doubles différences nous a permis de conclure que la mise en place des quotas carbone concorde avec une diminution des émissions de gaz à effet de serre sur la période pour les secteurs de l'industrie et de la production d'énergie.

On peut émettre certaines hypothèses sur ces résultats et sur le fait que la mise en place des quotas carbone ne semble ne pas avoir eu d'effets sur les émissions de gaz à effet de serre. Tout d'abord, la mise en place des quotas se fit de manière progressive avec un grand nombre de quotas donnés gratuitement et en surnombres. Seuls certaines industries ont eu à avoir recours au marché pour acheter ces quotas carbone. On peut donc supposer que leur surnombre et leur gratuité n'ont pas incité les industriels à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre, cette hypothèse concorde avec différentes études que nous avons présentées. Une autre hypothèse pourrait être le temps. En effet, les quotas carbone n'ont été mis en place qu'en 2005, ce qui représente une trop courte période pour voir l'effet que la mise en place ait pu avoir. On pourrait également supposer que le faible coût des quotas jusqu'en 2019 n'aie pas été un incitant suffisant pour que les industriels investissent et réduisent leurs émissions, ceux-ci préférant continuer de polluer.

Une limitation de notre étude est la courte période observée et la temporalité des données. En effet, étant donné que la mise en place des quotas date de 2005 et que les

agences gouvernementales diffusent leurs rapports concernant les émissions des gaz à effet de serre sur une base annuelle, ces deux problèmes mis ensemble ont donc considérablement réduit le nombre d'observations disponibles pour tester nos hypothèses et ont donc réduit la puissance des modèles. Les résultats obtenus sont donc à interpréter avec prudence.

## Références

- 6e rapport d'évaluation du GIEC : 6 points clés et implications politiques pour 2023.* (s. d.).  
IDDRI. En ligne : <https://www.iddri.org/fr/publications-et-evenements/billet-de-blog/6e-rapport-devaluation-du-giec-6-points-cles-et>
- Afp, L. M. A. (2011, 13 décembre). Le Canada quitte le Protocole de Kyoto. *Le Monde.fr*. En ligne : [https://www.lemonde.fr/planete/article/2011/12/13/le-canada-quitte-le-protocole-de-kyoto\\_1617695\\_3244.html](https://www.lemonde.fr/planete/article/2011/12/13/le-canada-quitte-le-protocole-de-kyoto_1617695_3244.html)
- Andreoni, V., & Galmarini, S. (2016). Drivers in CO2 emissions Variation : A decomposition analysis for 33 world countries. *Energy*, *103*, 27-37. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.02.096>
- Anne, B. (2023, 22 mars). Publication du 6e rapport de synthèse du GIEC. *Ministères Écologie Énergie Territoires*. En ligne : <https://www.ecologie.gouv.fr/publication-du-6e-rapport-synthese-du-giec>
- Berta, N. (2010). Les marchés de permis négociables de SO2 et CO2 : des premiers pas délicats. *Revue française de socio-économie*, *5*(1), 185. <https://doi.org/10.3917/rfse.005.0185>
- Candelon, B., & Hasse, J. (2023). Testing for causality between climate policies and carbon emissions reduction. *Finance Research Letters*, *55*, 103878. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.103878>
- Collard, F. (s. d.). *Les COP sur les changements climatiques*. Cairn.info. En ligne : <https://www.cairn.info/revue-courrier-hebdomadaire-du-crisp-2021-1-page-5.htm>
- Dai, S., Qian, Y., He, W., Wang, C., & Shi, T. (2022). The spatial spillover effect of China's carbon emissions trading policy on industrial carbon intensity : Evidence from a spatial difference-in-difference method. *Structural Change and Economic Dynamics*, *63*, 139-149. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2022.09.010>
- Dong, K., Jiang, H., Sun, R., & Dong, X. (2019). Driving forces and mitigation potential of global CO2 emissions from 1980 through 2030 : evidence from countries with

- different income levels. *Science of The Total Environment*, 649, 335-343. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.326>
- Drake, D. F., Kleindorfer, P. R., & Van Wassenhove, L. N. (2015). Technology choice and capacity portfolios under emissions regulation. *Production and Operations Management*, 25(6), 1006-1025. <https://doi.org/10.1111/poms.12523>
- Harrison, T., & Smith, G. (2009). *Cap and Trade versus a Carbon Tax*. Working paper, Citizens Action Coalition of Indiana, Indianapolis, IN 46204.
- Henriques, S. T., & Borowiecki, K. J. (2017). The drivers of long-run CO2 emissions in Europe, North America and Japan since 1800. *Energy Policy*, 101, 537-549. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.11.005>
- Keohane, N. O. (2003, 15 octobre). *What did the market buy ? Cost savings under the U.S. Tradeable Permits Program for sulfur dioxide*. En ligne : [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=465320](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=465320)
- Leclerc, N. (2022, 8 décembre). *Le marché du carbone européen (CO2) &mdash ; OMNEGY*. OMNEGY. En ligne : <https://omnegy.com/le-marche-du-carbone-europeen-co2/>
- Mandell, S. (2008). Optimal mix of emissions taxes and cap-and-trade. *Journal of Environmental Economics and Management*, 56(2), 131-140. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2007.12.004>
- Montgomery, W. D. (1972). *Markets in licenses and efficient pollution control programs*. En ligne : [https://econpapers.repec.org/article/eeejetheo/v\\_3a5\\_3ay\\_3a1972\\_3ai\\_3a3\\_3ap\\_3a395-418.htm](https://econpapers.repec.org/article/eeejetheo/v_3a5_3ay_3a1972_3ai_3a3_3ap_3a395-418.htm)
- Nordhaus, W. D. (2019). Climate change : the ultimate challenge for economics. *The American Economic Review*, 109(6), 1991-2014. <https://doi.org/10.1257/aer.109.6.1991>
- Protocole de Kyoto sur les changements climatiques - Sénat*. (s. d.). Sénat. En ligne : <https://www.senat.fr/ue/pac/E1903.html>

*Qu'est-ce que le Protocole de Kyoto ?* (2022, août 12). myclimate. En ligne :

<https://www.myclimate.org/fr-ch/sinformer/faq/faq-detail/quest-ce-que-le-protocole-de-kyoto/>

Ritchie, H. (2020, 11 mai). *CO2 and greenhouse gas emissions*. Our World in Data. En ligne : <https://ourworldindata.org/co2-emissions>

Robert, C. (2021). Entrée en vigueur symbolique de la 2e période d'engagement du Protocole de Kyoto. . . un jour avant sa fin. *Citepa*. En ligne :

[https://www.citepa.org/fr/2020\\_10\\_a01/#:~:text=La%20deuxi%C3%A8me%20p%C3%A9riode%20d%27engagement,%2C%20et%20l%27Australie\).](https://www.citepa.org/fr/2020_10_a01/#:~:text=La%20deuxi%C3%A8me%20p%C3%A9riode%20d%27engagement,%2C%20et%20l%27Australie).)

Schmalensee, R., & Stavins, R. N. (2017). Lessons learned from three decades of experience with Cap and trade. *Review of Environmental Economics and Policy*, 11(1), 59-79. <https://doi.org/10.1093/reep/rew017>

Schwartz, S. (2009). Comment distribuer les quotas de pollution ? *Revue D Economie Politique*. <https://doi.org/10.3917/redp.194.0535>

Service Changements climatiques. (s. d.). *2023 - rapport de synthèse*. Klimaat | Climat. En ligne : <https://climat.be/changements-climatiques/changements-observees/rapports-du-giec/2023-rapport-de-synthese>

*Système d'échange de quotas d'émission : Cibler l'allocation de quotas à titre gratuit*. (s. d.). En ligne : <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/emissions-trading-system-18-2020/fr/>

TRADING ECONOMICS. (s. d.). *EU Carbon Permits - 2023 data - 2005-2022 historical - 2024 forecast - price - quote*. En ligne : <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>

United Nations Framework Convention on Climate Change. (s. d.). *CDM : CDM-Home*. En ligne : <https://cdm.unfccc.int/>

Vincent, B. (2022). Décryptage des COP : les conférences internationales de lutte contre le dérèglement climatique. *Ministères Écologie Énergie Territoires*. En ligne : <https://www.ecologie.gouv.fr/decryptage-des-cop-conferences-internationales-lutte-contre-dereglement-climatique>

## Annexe

### Annexe 1 – Code R

```

library(lmtest)
library(tseries)
library(strucchange)

### importation des données ###

### création des variables pour la régression ###

EuCO2EmiGlobale <- EuropeSector$`CO2 Emissions globale` ## Emissions de CO2 en
Europe totale
Energy <- EuropeSector$`Energy supply` ## Emissions de co2 en Euope par le secteur de
l'énergie
Industry <- EuropeSector$Industry ## Emissions de CO2 en Europe par le secteur de
l'industrie
Price <- EuropeSector$Price ## Prix d'un EU ETS sur le marché
Diffglobale <- diff(EuropeSector$`CO2 Emissions globale`)
diffenergy <-diff(EuropeSector$`Energy supply`)
diffindustry <- diff(EuropeSector$Industry)
diffprice <- diff(EuropeSector$Price)

adf.test(Diffglobale) ## stationnaire ##
adf.test(diffenergy) ## stationnaire ##
adf.test(diffindustry) ## stationnaire ##
adf.test(diffprice) ## stationnaire ##

### Calcul des différentes régressions ###

Regglobale <- lm(EuCO2EmiGlobale~ Price )
summary(Regglobale)
dwtest(Regglobale) ### présence d'autocorrélation ###

RegEnergy <-lm(Energy~ Price )
summary(RegEnergy)
dwtest(RegEnergy) ### présence d'autocorrélation ##

RegIndustry <-lm(Industry~ Price )
summary(RegIndustry)
adf.test(RegIndustry$residuals)
RegDiffgloable <-lm(Diffglobale~ diffprice )
summary(RegDiffgloable)
dwtest(RegDiffgloable) ### pas d'autocorrélation ###
adf.test(RegDiffgloable$residuals)

Regdiffenergy<-lm(diffenergy~ diffprice )
summary(Regdiffenergy)

```

```
dwtest(Regdiffenergy) ### pas d'autocorrélation ###
adf.test(Regdiffenergy$residuals)
```

```
Regdiffindustry<-lm(diffindustry~ diffprice )
summary(Regdiffindustry)
dwtest(Regdiffenergy) ### pas d'autocorrélation ###
adf.test(Regdiffindustry$residuals)
```

```
### Méthode des différences en différence ###
```

```
## obtention des données ##
```

```
DID <- read_excel("~/Desktop/Mémoire /DID.xlsx")
```

```
NewDID <- subset(DID, DID$Year<2021) ### Prendre la différentiation -> pour avoir séries
sans autocorrélation #####
```

```
autre <-subset(NewDID,NewDID$trend=="1")
```

```
adf.test(NewDID$DIffEmissions) ### séries stationnaire ###
```

```
## Model DID ##`
```

```
DIDreg2 = lm(autre$DIffEmissions ~ autre$`Secteur traités`*autre$`Année du traitement`)
summary(DIDreg2)
```

```
DIDreg = lm(NewDID$DIffEmissions ~ NewDID$`Secteur traités`*NewDID$`Année du
traitement`)
summary(DIDreg)
dwtest(DIDreg) ### sans autocorrélation ###
adf.test(DIDreg$residuals) ### stationnaire ###
```

```
DIDregfaux =lm(NewDID$DIffEmissions ~ NewDID$`Faux secteur
traités`*NewDID$`Année du traitement` )
summary(DIDregfaux)
dwtest(DIDregfaux) ### sans autocorrélation ###
adf.test(DIDregfaux$residuals) ### stationnaire ###
```

```
DIDregfaux2 = lm(NewDID$DIffEmissions ~ NewDID$`Faux secteur
traités`*NewDID$`Fausse année de traitement` )
summary(DIDregfaux2)
dwtest(DIDregfaux2) ### sans autocorrélation ###
adf.test(DIDregfaux2$residuals) ### stationnaire ###
```

```
DIDregfaux3 = lm(NewDID$DIffEmissions ~ NewDID$`Secteur traités`*NewDID$`Fausse
année de traitement` )
summary(DIDregfaux3)
dwtest(DIDregfaux3) ### sans autocorrélation ###
```

```
adf.test(DIDregfaux4$residuals) ### stationnaire ###
```

```
### modèle avec seulement certains secteurs ###
```

```
DIDreg2 = lm(autre$DIffEmissions ~ autre$`Secteur traités`*autre$`Année du traitement` )
summary(DIDreg2)
```

```
adf.test(DIDreg2$residuals) ### stationnaire ###
```

```
DIDregfaux =lm(autre$DIffEmissions ~ autre$`Faux secteur`*autre$`Année du traitement` )
summary(DIDregfaux)
```

```
dwtest(DIDregfaux) ### sans autocorrélation ###
```

```
DIDregfaux3 = lm(autre$DIffEmissions ~ autre$`Secteur traités`*autre$`Fausse année de traitement` )
```

```
summary(DIDregfaux3)
```

```
dwtest(DIDregfaux3) ### sans autocorrélation ###
```

```
adf.test(DIDregfaux4$residuals) ### stationnaire ###
```

```
DIDregfaux2 = lm(autre$DIffEmissions ~ autre$`Faux secteur`*autre$`Fausse année de traitement` )
```

```
summary(DIDregfaux2)
```

```
dwtest(DIDregfaux2) ### sans autocorrélation ###
```

```
adf.test(DIDregfaux2$residuals) ### stationnaire ###
```

```
NewDID$`Fausse année et fausse année de traitement` = ifelse(NewDID$Year >1995 ,1, 0)
### autre dummies test #####
```

```
DIDregfaux4 = lm(autre$DIffEmissions ~autre$`Secteur traités`*autre$`Crise financière` )
summary(DIDregfaux4)
```

```
dwtest(DIDregfaux4) ### sans autocorrélation ###
```

```
adf.test(DIDregfaux4$residuals) ### stationnaire ###
```

```
### Test de Granger ###
```

```
tsDiffglobale <-ts(Diffglobale, start=2006, frequency = 1)
```

```
tsdiffenergy <-ts(diffenergy, start=2006, frequency = 1)
```

```
tsdiffindustry <- ts(diffindustry, start=2006, frequency = 1)
```

```
tsdiffprice <-ts(diffprice, start=2006, frequency = 1)
```

```
grangertest(tsdiffprice ~ tsDiffglobale) ### rejet ###
```

```
grangertest(tsdiffprice ~ tsdiffenergy) ### rejet ###
```

```
grangertest(tsdiffprice ~ tsdiffindustry) ### rejet ###
```

## Résumé :

Ce mémoire étudie l'impact de la mise en place d'un système de quota sur les émissions de gaz à effet de serre en Europe et plus particulièrement pour les secteurs de l'industrie et de la production d'énergie. Ce mémoire propose une revue historique des émissions de CO<sub>2</sub> en Europe et une division par secteur d'activités et une revue bibliographique de la mise en place de ce type de système.

Sur base des émissions de gaz à effet de serre en Europe et des prix des quotas carbone EU ETS, nous proposons différents modèles pour étudier l'impact du prix EU ETS sur les émissions de gaz à effet de serre sur la période 2005-2021. Les résultats de cette étude indiquent que les prix des EU ETS n'ont pas eu d'impact sur les émissions de gaz à effet de serre en Europe sur la période 2005-2021.

**UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN**  
**Louvain School of Management**

Place des Doyens, 1 bte L2.01.01, 1348 Louvain-la-Neuve  
Boulevard Emile Devreux 6, 6000 Charleroi, Belgique  
Chaussée de Binche 151, 7000 Mons, Belgique

[www.uclouvain.be/lsm](http://www.uclouvain.be/lsm)