

**Louvain School of Management**

# **Influence de l'introduction du marché carbone européen**

L'intensité carbone dans le Benelux

Auteur·e(s) : Chloé De Ketele  
Promoteur·rice(s) : Jean-Baptiste Hasse  
Année académique 2022-2023  
Travail de fin d'études (TFE) en vue d'obtenir le titre de  
Master (60) en Sciences de Gestion  
Horaire décalé

# 1 RÉSUMÉ

---

Suite au réchauffement climatique et suite aux décisions mondiales politiques d'agir concrètement, plusieurs politiques climat ont été mises en place afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre (on pense par exemple au « Fit for 55 » de l'Union européenne, de la Chine qui s'engage à avoir un bilan carbone neutre d'ici 2060 [32], ...).

Le but de ce mémoire sera de répondre à la question de recherche suivante : « *L'introduction de politiques visant à limiter les émissions de gaz à effet de serre ont-elles eues un impact dans le Benelux ?* ».

Tout d'abord une brève mise en contexte sera faite sur l'état du monde et le réchauffement climatique.

Ensuite, deux grandes politiques climats seront exposés, à savoir le protocole de Kyoto ainsi que le marché carbone européen (EU ETS – EU Emission Trading System). Pour le protocole de Kyoto, il a déjà été prouvé qu'il n'avait eu aucun effet ce qui est également le consensus scientifique. Ce résultat sera à nouveau étudié et prouvé dans ce travail.

Après l'explication du fonctionnement du système d'achats de droits d'émission, les données utilisées seront décrites. Le concept d'intensité carbone sera également exposé.

Ensuite, la méthodologie globale sera d'abord expliquée avant de se plonger dans les résultats et la conclusion, donnés aux deux derniers chapitres.

En conclusion, on trouvera que les politiques mises en place par le marché carbone européen n'ont pas eu d'impact sur les intensités carbonées dans le Benelux. Il convient néanmoins de nuancer ses résultats car pour la troisième phase du marché carbone (en application depuis 2013) les résultats sont presque significatifs. Il est donc possible qu'on manque de recul et de données pour tirer une conclusion valable. Pour les règles mises en place avant 2013, on peut néanmoins conclure qu'il n'y a aucun lien statistique entre les intensités carbone du Benelux et la mise en place du marché carbone européen.

## TABLE DES MATIÈRES

1	Résumé.....	1
	Liste des figures .....	3
	Liste des tableaux.....	3
2	Introduction .....	4
2.1	Enjeux climatiques .....	4
2.2	Quelques chiffres .....	5
2.3	Que fait le monde politique ? .....	7
3	Politiques climats .....	8
3.1	Un accord historique mondial : Le protocole de Kyoto .....	8
3.2	Marché carbone européen : contexte et explications.....	9
4	Données .....	15
4.1	Sources des données.....	15
4.2	Analyse des données.....	17
5	Methodologie.....	22
5.1	Break structurel.....	22
5.2	Test de Causalité au sens de Granger .....	23
6	Analyse statistique.....	24
6.1	Breaks structurels.....	24
6.2	Test de causalité Granger.....	26
7	Conclusion.....	29
8	Bibliographie .....	30
9	Annexes : codes sources R .....	36
9.1	Break selon Andrews : Belgique, Pays-Bas, Luxembourg .....	36
9.2	Break selon Bai & Perron, sans prendre en compte la récession : Belgique, Pays-Bas, Luxembourg.....	39
9.3	Break selon Bai & Perron, en prenant en compte la récession : Belgique, Pays-Bas, Luxembourg.....	41
9.4	Test de causalité Granger.....	43

## LISTE DES FIGURES

---

Figure 1 Source : <a href="https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions">https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions</a> .....	5
Figure 2 Source : <a href="https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions">https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions</a> .....	6
Figure 3 évolution des émissions de gaz à effet de serre (1750-2021) Source : <a href="https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions">https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions</a> .....	6
Figure 4 Différents scénarios en fonction des émissions de gaz à effet de serres Source : <a href="https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions">https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions</a> .....	7
Figure 5 Evolution du prix du quota de CO <sub>2</sub> au sein du marché carbone.....	11
Figure 6 <a href="https://www.europarl.europa.eu/news/fr/headlines/society/20191129STO67756/emissions-de-co2-des-avions-et-des-navires-faits-et-chiffres-infographie">https://www.europarl.europa.eu/news/fr/headlines/society/20191129STO67756/emissions-de-co2-des-avions-et-des-navires-faits-et-chiffres-infographie</a> .....	13
Figure 7 Emissions de gaz à effet de serre dans le Benelux (1960-2021).....	17
Figure 8 missions de gaz à effet de serre dans le Luxembourg (1960-2021) .....	18
Figure 9 PIB des pays du Benelux (1960-2021).....	19
Figure 10 évolution de l'intensité carbone dans le BeNelux [1960-2021] (échelle unitaire).....	20
Figure 11 Break structurel .....	23
Figure 12 Dates de breaks structurels dans le BeNeLux selon Andrews et Bai & Perron .....	24
Figure 13 Causalité dans le sens Granger pour la phase 1 du marché carbone .....	26
Figure 14 Causalité dans le sens Granger pour la phase 2 du marché carbone.....	27
Figure 15 Causalité dans le sens Granger pour la phase 3 du marché carbone.....	27

## LISTE DES TABLEAUX

---

Tableau 1 Intensité carbone : Belgique, Luxembourg, Pays-Bas .....	20
Tableau 2 Marché carbone européen : phase 1 .....	21
Tableau 3 Marché carbone européen : phase 2 .....	21
Tableau 4 Marché carbone européen : phase 3 .....	21
Tableau 5 Dates de breaks structurels dans le BeNeLux selon Andrews et Bai & Perron .....	24
Tableau 6 Breaks structuels Baelux : impact des pays et de la récession .....	25

## 2 INTRODUCTION

---

### 2.1 ENJEUX CLIMATIQUES

En 2023, bien rares sont les gens n'ont jamais entendus les termes « réchauffement climatique », ne connaissant pas le concept d'« émissions CO<sub>2</sub> » ou n'étant pas du tout au courant de ce qu'est le GIEC<sup>1</sup> (le Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat). Plus possible de passer à côté : les causes du réchauffement climatiques ainsi que les actions (drastiques) qui vont devoir être prises dans les années à venir, sont devenus centraux dans notre vie quotidienne. La lutte contre le réchauffement climatique est bien le grand défi des décennies à venir, tout comme le montre l'engouement sur les sujets environnementaux, sociétaux et de gouvernance [8].

Après des décennies de débats scientifiques et de négociations politiques, plusieurs actions ont été prises afin de lutter contre les causes du réchauffement climatique. Pour nommer des exemples concrets, on parle par exemple de la rénovation du parc immobilier belge<sup>2</sup> qui va être obligatoire pour 99% des maisons et 95% des appartements d'ici 2050, le développement massif du parc éolien en mer du Nord<sup>3</sup> ou encore l'objectif global de diminution de 25%<sup>4</sup> des émissions CO<sub>2</sub>.

Une des causes de ce réchauffement est l'émission de gaz à effet de serres. Ce travail se concentre sur cet aspect-là, bien que d'autres aspects tels que la perte de biodiversité, l'acidification des océans, ou les injustices sociales liées à au réchauffement climatiques... sont à traiter en parallèle et ne peuvent être négligés.

---

<sup>1</sup> [https://report.ipcc.ch/ar6syр/pdf/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_LongerReport.pdf](https://report.ipcc.ch/ar6syр/pdf/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf)

<sup>2</sup> <https://www.habitos.be/fr/construire-et-renover/presque-tout-le-parc-immobilier-belge-doit-etre-renove-dici-2050>

<sup>3</sup> <https://www.belgianoffshoreplatform.be/fr/news/premiere-zone-denergie-eolienne-en-mer-du-nord-belge-entierement-operationnelle-dans-les-delais-prevus/#:~:text=Le%20d%C3%A9veloppement%20de%20l'%C3%A9olien,de%2045%20%25%20en%20un%20an.>

<sup>4</sup> [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15\\_Headline\\_Statements\\_French.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Headline_Statements_French.pdf)

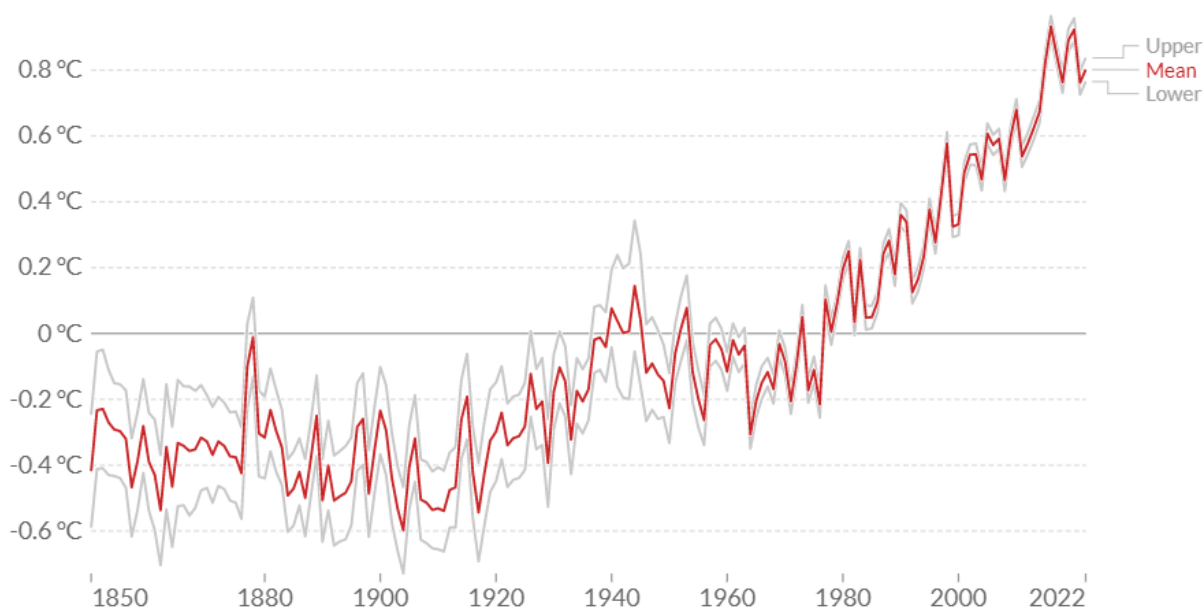
## 2.2 QUELQUES CHIFFRES

Avant de nous plonger dans les chiffres des émissions de gaz à effet de serre, quelques graphiques reprenant des observations permettant de chiffrer le réchauffement climatique.

Qui dit réchauffement dit température. Mais quel est exactement ce réchauffement, comment et où se mesure-t-il ?

Il faut savoir que quand on parle du réchauffement climatique et d'un objectif de rester « sous les +2°C », on parle de température moyenne mondiale mesurée par rapport à une valeur de référence datant de l'ère préindustrielle.

Figure 1 montre l'intervalle de confiance de la déviation de la température globale moyenne des terres et des eaux par rapport à une situation de référence (la moyenne de 1961-1990).



Source: Met Office Hadley Centre (HadCRUT5)

OurWorldInData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions • CC BY

Note: The gray lines represent the upper and lower bounds of the 95% confidence intervals.

Figure 1 Source : <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>

Figure 2 montre la déviation en 2019 par rapport à la moyenne de la période de référence 1951-1980.

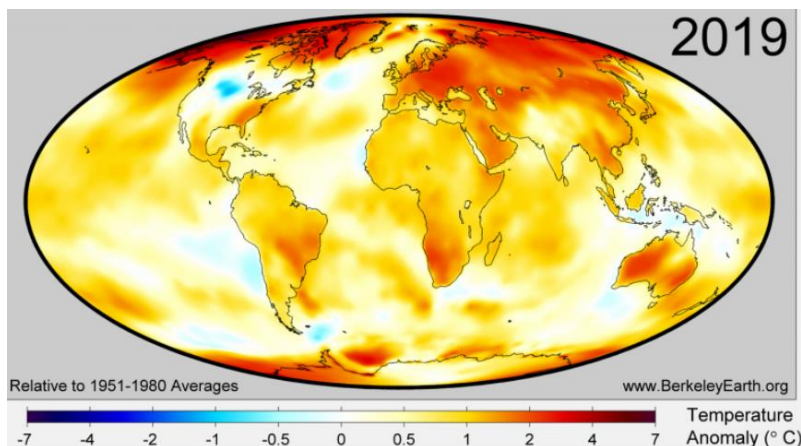
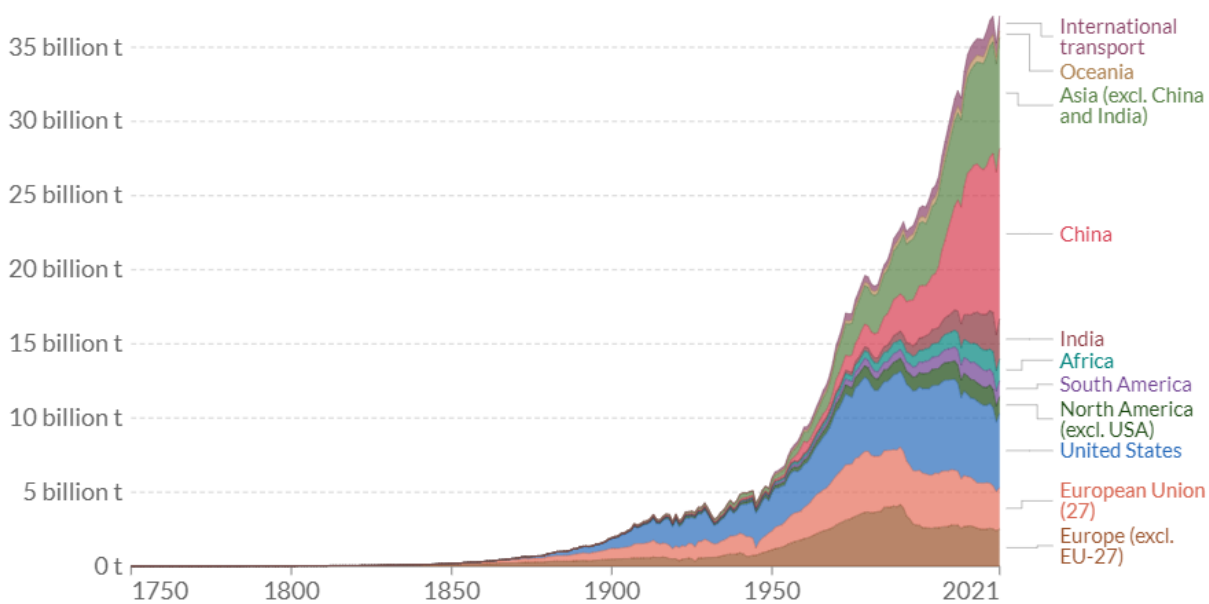


Figure 2 Source : <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>

Les émissions de gaz à effets de serre ont explosé depuis le milieu du siècle précédent comme on peut voir sur la Figure 3. Selon les prévisions, la courbe montrée n'a pas encore atteint son maximum. Cependant, si on en croit la littérature scientifique, il va falloir les diminuer, et drastiquement.



Source: Our World in Data based on the Global Carbon Project (2023) [OurWorldInData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions](https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions) • CC BY

Figure 3 évolution des émissions de gaz à effet de serre (1750-2021)

Source : <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>

Figure 4 montre différents scénarios et leurs conséquences sur la température moyenne mondiale. Dans le pire des cas, à entendre l'inaction, cette augmentation pourrait aller jusque

presque 5°C ! Les conséquences ne font pas partie du cadre de ce mémoire mais elles seraient problématiques pour les écosystèmes en place et entraîneraient des conséquences humaines énormes<sup>5</sup>. Cependant, les engagements pris actuellement nous permettent d'éviter cette situation catastrophique.

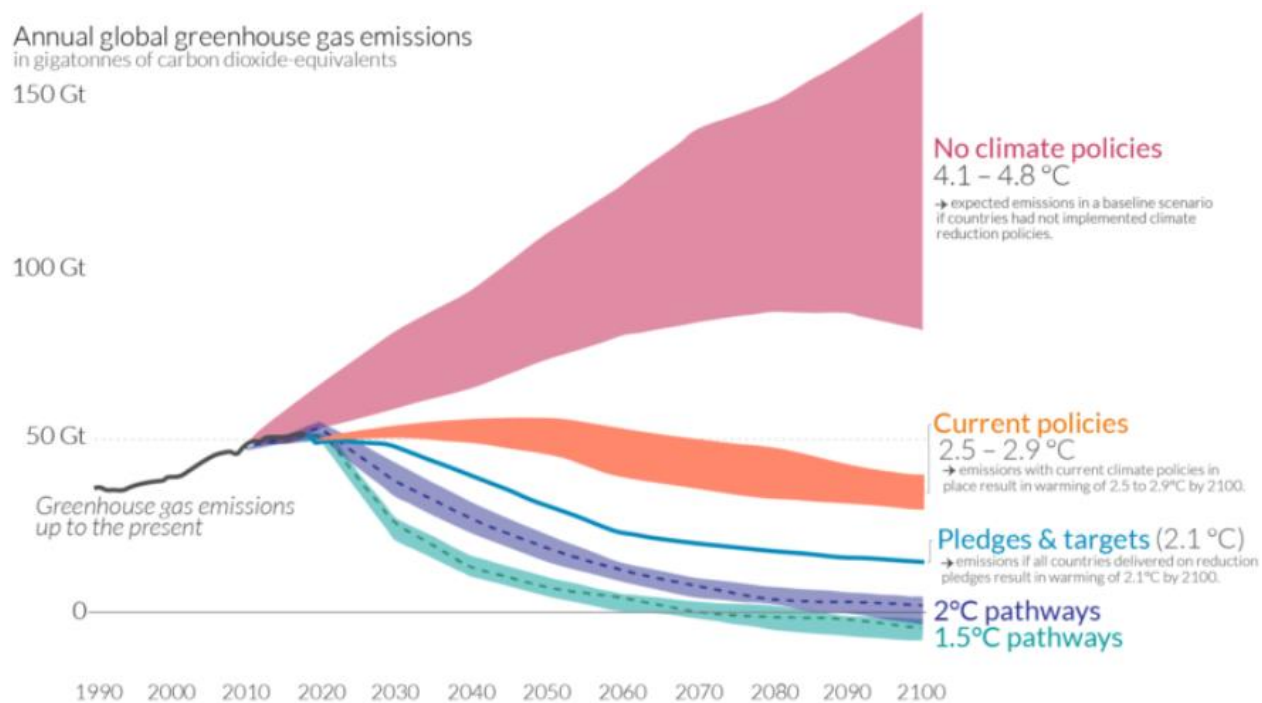


Figure 4 Différents scénarios en fonction des émissions de gaz à effet de serres

Source : <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>

### 2.3 QUE FAIT LE MONDE POLITIQUE ?

Le premier réel élan lancé par le monde politique pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, PFC, SF<sub>6</sub>, ...) démarre en 1997 avec le protocole de Kyoto, signé suite à la troisième Conférence des Nations unies. Le protocole de Kyoto rentre en action en 2008.

En 2005, un nouveau système voit le jour : il s'agit du marché carbone européen.

Ces 2 politiques sont décrites aux chapitres suivants.

<sup>5</sup> <https://edition.cnn.com/2023/01/30/world/global-warming-critical-threshold-climate-intl/index.html#:~:text=Temperature%20rises%20over%202%20degrees,into%20%E2%80%9Cchronic%20water%20scarcity.%E2%80%9D>

### 3 POLITIQUES CLIMATS

---

#### 3.1 UN ACCORD HISTORIQUE MONDIAL : LE PROTOCOLE DE KYOTO

Le protocole, signé en 1997, est le premier accord contraignant donnant des objectifs de réduction de gaz à effets de serre. L'accord stipule que les émissions doivent être diminués de 5% par rapport au niveau de 1990, avec des obligations spécifiques en fonction des pays. Le protocole se base sur un marché de droits d'émissions international.

Il y a plusieurs recommandations adressées aux membres ayant signés le protocole mais sans obligation. La façon d'attendre l'objectif est libre. Bien que signé en 1997, le protocole n'est effectif qu'en 2005.

L'efficacité du protocole a été remis en cause, et ce à juste titre. Comme nous verrons plus loin dans l'étude, l'efficacité de ce protocole ne peut en effet pas être prouvé : la communauté scientifique s'accorde pour dire que d'un point de vue émission, l'entrée en vigueur du protocole n'a pas eu d'effet significatif sur les émissions de gaz à effet de serre.

D'un point de vue émissions de gaz à effet de serre émis, le consensus est de dire que cet accord est un échec [8]. Néanmoins, n'oublions pas que politiquement parlant, cet accord était, et est toujours un des accords les plus important, car il a été signé et ratifié par 191 états, ce qui en fait l'Accord climatique le plus important existant de nos jours.

## 3.2 MARCHÉ CARBONE EUROPÉEN : CONTEXTE ET EXPLICATIONS

### Introduction du marché carbone européen

En 2005, un nouveau concept voit le jour : le marché carbone européen (en anglais : EU ETS – Emission Trading system). Il s'agit d'un dispositif d'application dans tous les pays de l'UE (ainsi que l'Irlande, le Liechtenstein et la Norvège depuis 2008) visant à limiter les émissions d'environ 10 000 installations dans le secteur de l'électricité, de la fabrication et des compagnies aériennes opérant entre les pays adhérents. Ce marché couvre environ 40% de toutes les émissions de gaz à effet de serre de l'UE.

Le marché carbone européen est le premier en son genre car il se base sur le principe du pollueur-payeur avec un nombre limité de quotas. Il ne s'agit donc pas d'une taxe carbone : le prix est fonction de la demande et de la disponibilité. Il y a donc un nombre limité de quotas d'émissions émis sur une année.

Les gaz considérés sont le NO<sub>2</sub>, les PFC's originant de la production d'aluminium ainsi que le CO<sub>2</sub> originaire de l'électricité et création de chaleur, des industries énergivores (telles que mais non limitées à : le pétrole, l'acier, l'aluminium, le ciment, le verre, le papier, ...). Les émissions de CO<sub>2</sub> des vols commerciaux dans l'EEA (European Economic Area) sont également pris en compte.

Bien que la participation soit obligatoire, toutes les industries n'y sont pas nécessairement soumises. En effet, dans certains secteurs, on ne regarde que les installations au-dessus d'une certaine taille. Si les autorités locales mettent en places des mesures fiscales permettant de diminuer les émissions de certaines petites industries par un équivalent, certaines petites installations peuvent être exemptées. De plus, dans le domaine de l'aviation, seuls les vols entre deux aéroports de l'EEA sont considérés. Notons que cette dernière mesure ne sera plus valable à partir de 2024.

### **Phase 1 – 2005-2007 : Premières années**

En 2005 on se retrouve avec un dispositif limitant le nombre de quotas de CO<sub>2</sub> que les entreprises peuvent consommer sur un an. Le prix d'un quota est également fixé mais, le nombre de quotas étant limités, implique que le prix va en toute logique évoluer en fonction de la demande et de la conjoncture.

Pendant les premières années, le nombre de quotas émis était supérieur à la demande des industries. Ceci a eu pour conséquence une chute du prix des quotas, n'incitant pas à la réduction des émissions CO<sub>2</sub>. Les résultats pendant cette période ne sont donc pas spécialement encourageants. Ceci peut néanmoins se nuancer en mentionnant plusieurs arguments.

Premièrement, comme mentionné précédemment, seuls certaines émissions de CO<sub>2</sub> sont considérées. Le grand nombre de quotas émis ne permet pas d'augmenter le prix de l'émission de CO<sub>2</sub>. Les industriels ne sont donc pas incités à investir dans des solutions alternatives. Dernièrement, la pénalité en cas de non-respect était (seulement) de 40€ la tonne de CO<sub>2</sub>.

Pour les raisons citées ci-dessus, on ne trouve pas de relation entre l'introduction du marché carbone européen et les émissions de gaz à effet de serra durant cette première période, comme sera démontré plus loin dans ce travail. Aucun changement majeur ne peut être observé en, ou peu après, 2005.

Cependant cette période permet d'instaurer un prix pour une tonne équivalent carbone, d'implémenter le système de vente/achat et échange de quota avec succès. Les infrastructures afin de monitorer, reporter et vérifier les émissions des secteurs concernés ont également pu être mises en place.

## Phase 2 – 2008-2012 : la première phase contraignante

En 2008 une crise financière voit le jour. Suite à cela, la demande et donc le prix du carbone va drastiquement chuter. Ayant commencé en 2005 avec un prix de 26€/tCO<sub>2</sub>, le prix chute jusque 9€/tCO<sub>2</sub> en moins d'un an.

Sans surprise, cette chute de prix n'incite à nouveau pas les entreprises à chercher des alternatives pour leur émission de CO<sub>2</sub>, il est alors financièrement plus intéressant d'acheter les « droits de pollution ».

Regardons dans un premier temps le prix du carbone durant cette période (voir Figure 5). Bien que le nombre d'émissions « gratuites » chutent de 10% (et qu'on pourrait donc s'attendre à une augmentation du prix), une crise financière important a lieu en 2007, diminuant drastiquement la demande, et par conséquent le prix du CO<sub>2</sub> qui atteint en 2013 un prix bas record de 3 €/tCO<sub>2</sub>.

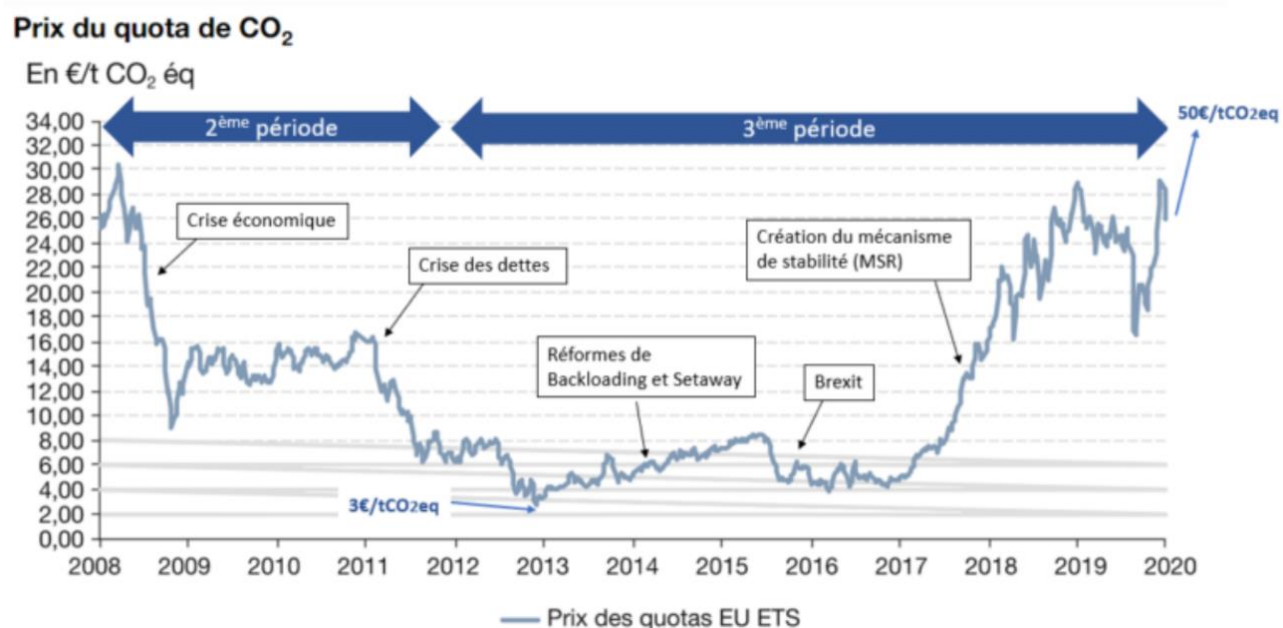


Figure 5 Evolution du prix du quota de CO<sub>2</sub> au sein du marché carbone

### **Phase 3 : 2013-2020 : on passe la deuxième**

Dans la troisième phase, les restrictions s'accroissent. Le marché carbone européen est maintenant un système unique valable dans toute l'Union Européenne.

Là où, auparavant, il y avait un nombre de quotas mis à disposition gratuitement, le système de vente de quotas est désormais un système de ventes aux enchères. Certains quotas sont encore « donnés » gratuitement mais les conditions pour pouvoir en profiter sont maintenant uniformisées.

Cependant, le système de « mise en réserve » de quotas est toujours d'actualité : si on n'a pas utilisé 50 quotas sur les deux dernières années, on peut utiliser ces quotas là dans les années à venir. Ceci permet donc fictivement de lisser le nombre de quotas nécessaires. On observe néanmoins que le nombre de quotas accumulés en surplus sont en diminution. Dans quelques années, ce lissage fictif ne sera plus possible, rendant le marché encore plus compétitif.

De plus en plus de domaines sont également soumis à ce marché. L'exemple le plus marquant est celui de l'aviation. Les émissions provenant des vols internes de l'espace économique européen (EEA) sont maintenant concernées par le marché carbone. Cette nouvelle règle est particulièrement intéressante quand on sait qu'en 2019 l'aviation est responsable de 3.8% des émissions totales de CO<sub>2</sub> en Europe et 17.8% des émissions des transports (voir Figure 6).<sup>6</sup>

Il y a également une réserve de quotas mise en place pour les domaines qui investissent dans la capture de carbone ainsi que dans les énergies renouvelables.

---

<sup>6</sup> [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-emissions/reducing-emissions-aviation\\_fr](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-emissions/reducing-emissions-aviation_fr)

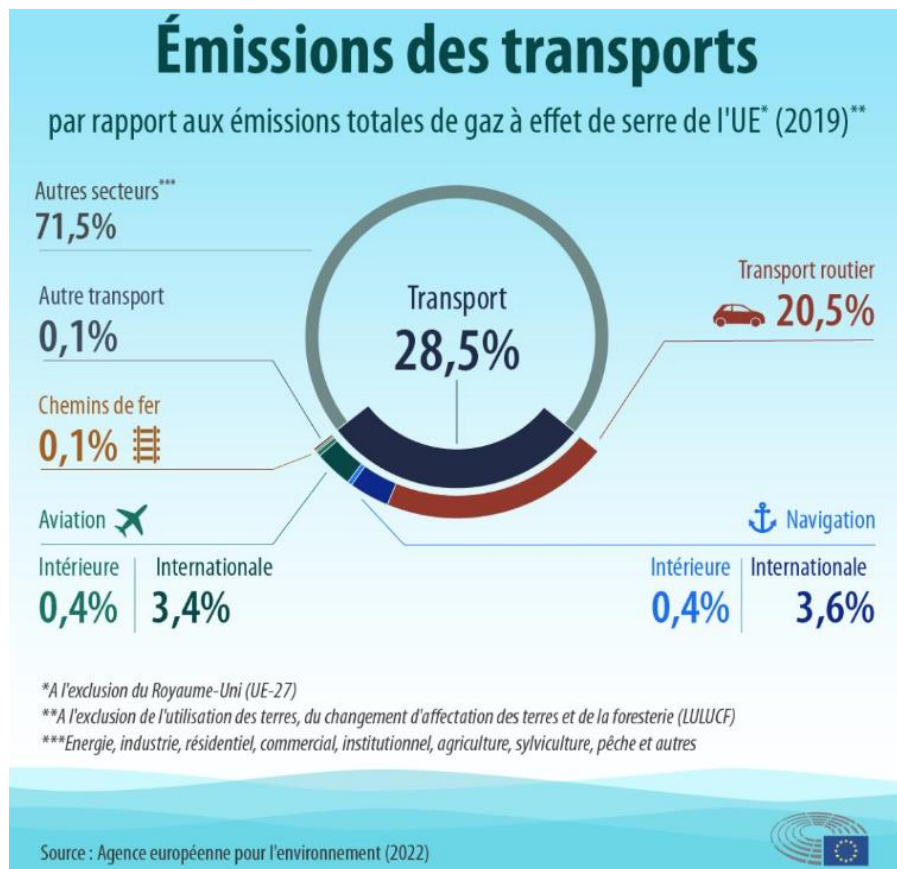


Figure 6 <https://www.europarl.europa.eu/news/fr/headlines/society/20191129STO67756/emissions-de-co2-des-avions-et-des-navires-faits-et-chiffres-infographie>

Comme on a pu voir sur la Figure 5, cette troisième phase a eu une stratégie gagnante : le prix du carbone est presque en hausse constante depuis le milieu de l'années 2015 et atteint un prix record supérieur à €50/tonne en 2021. Le prix du carbone est donc maintenant bien en adéquation avec l'objectif à atteindre.

L'augmentation de prix a un effet double : premièrement, une réelle application du principe de pollueur-payeur<sup>7</sup>. Deuxièmement, la hausse des prix des quotas a mené à une hausse des revenus des enchères. Revenus qui sont utilisés pour des mesures de soutien direct à la décarbonation, à des mesures d'efficacité énergétique ainsi qu'au soutien à la transition des transports notamment.

<sup>7</sup> <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/principe-pollueur-payeur-ppp-principe-de-responsabilite>

#### **Phase 4 : 2021-2030 Le futur du marché carbone**

La quatrième phase du marché carbone a trois priorités : premièrement, renforcer le marché carbone européen (notamment en accélérant la diminution du nombre de quotas disponibles annuellement). Afin de limiter le nombre de démissions gardés en « réserve », un plafond maximal va être introduit pour le nombre de quotas en réserve autorisés.

La deuxième priorité est de ne pas faire fuir les secteurs dans des zones où ces secteurs ne seraient pas taxés. Des quotas gratuits seront donc donnés à des secteurs dits « hauts risques ». Pour les autres secteurs, le nombre de quotas gratuits va diminuer progressivement pour atteindre 0% en 2030.

Dernièrement un des objectifs est de continuer et renforcer le financement des innovations faibles carbones et la modernisation du secteur énergétique.

Notons également qu'à partir de 2024, tous les vols seront concernés par le marché carbone européen, y compris en dehors de l'EEA.

## 4 DONNÉES

---

### 4.1 SOURCES DES DONNÉES

Plusieurs données ont été utilisés pour l'analyse :

- Émissions CO<sub>2</sub>
- PIB par habitant
- Intensité carbone
- Indicateur de récession

#### Émissions CO<sub>2</sub>

Les émissions CO<sub>2</sub> sont celles publiées par le Global Carbon Budget sur le site ICOS<sup>8</sup>.

Il y a trois grandes catégories d'émissions prises en compte.

Premièrement, les émissions CO<sub>2</sub> basées sur la production qui contiennent les émissions fossiles de CO<sub>2</sub> ainsi que les émissions liées au changement d'affectation des sols.

Ensuite les émissions CO<sub>2</sub> basées sur la consommation<sup>9</sup>, émises en tonne carbone. Une conversion est faite pour arriver en tonne équivalentes CO<sub>2</sub>. Pour cela, le tonnage est multiplié par 3.664 (valeur recommandée par Global Carbon Project<sup>10</sup>)

Dernièrement sont également pris en compte les émissions des gaz à effet de serre, de méthane et d'oxyde nitreux<sup>11</sup>. Ces valeurs sont également exprimées en tonnes CO<sub>2</sub> équivalent sur base des facteurs de potentiel de réchauffement global sur 100 ans pour les gaz non CO<sub>2</sub>. Notons qu'il y a pour ces données une plus grande incertitude que sur les données d'émissions CO<sub>2</sub>. Néanmoins elles sont acceptées par la communauté scientifique et nous nous concentrerons donc sur cette base de données.

---

<sup>8</sup> <https://www.icos-cp.eu/science-and-impact/global-carbon-budget/2022>

<sup>9</sup> Méthodologie expliquée par Peters et al. : <https://bg.copernicus.org/articles/9/3247/2012/>

<sup>10</sup> 1 molécule de CO<sub>2</sub> a une masse égale à 3.664 fois la masse d'un atome de carbone

<sup>11</sup> Source : CAIT Climate Data Explorer

## PIB par habitant

Les données concernant le Produit Intérieur Brut par habitant, viennent de données de La Banque Mondiale<sup>12</sup>. Ces données seront utilisées pour calculer l'intensité carbone (voir ci-dessous).

## Notion d'intensité carbone

En réalité, regarder seulement les émissions de CO<sub>2</sub> ne serait pas la meilleure façon de répondre à la question de recherche.

Nordhaus (2019) [35] argumente que le ratio CO<sub>2</sub>/PIB, appelé "l'intensité carbone" de la production serait la meilleure mesure pour quantifier la décarbonisation. Il s'agit d'un indicateur mesurant la tendance du rapport émissions sur la production totale.

L'intensité carbone peut être définie comme suit :

$$IC|_{zone A} = \frac{\text{émissions } CO_2|_{zone A}}{\text{PIB par habitant}|_{zone A}} \left[ \frac{CO_2e}{\text{unité monétaire}} \right]$$

Il s'agit donc de la mesure qui va être étudiée dans ce mémoire.

## Indicateur de récession

Au cours de l'analyse, nous allons également faire appel à un indicateur de récession. La base de données utilisée est celle du FRED<sup>13</sup> : Federal Reserve Economic Data. Il s'agit d'un indicateur binaire qui vaut 0 en temps normal et 1 pour les années où une récession a eu lieu.

---

<sup>12</sup> <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.KN?locations=BE-NL-LU>

<sup>13</sup> <https://fred.stlouisfed.org/series/EUROREC#0>

## 4.2 ANALYSE DES DONNÉES

### Émissions CO<sub>2</sub>

Figure 7 montre l'évolution des émissions CO<sub>2</sub> dans la Belgique, les Pays-Bas et le Luxembourg ainsi que le résultat cumulé. On observe que des tendances similaires entre les Pays-Bas et la Belgique.

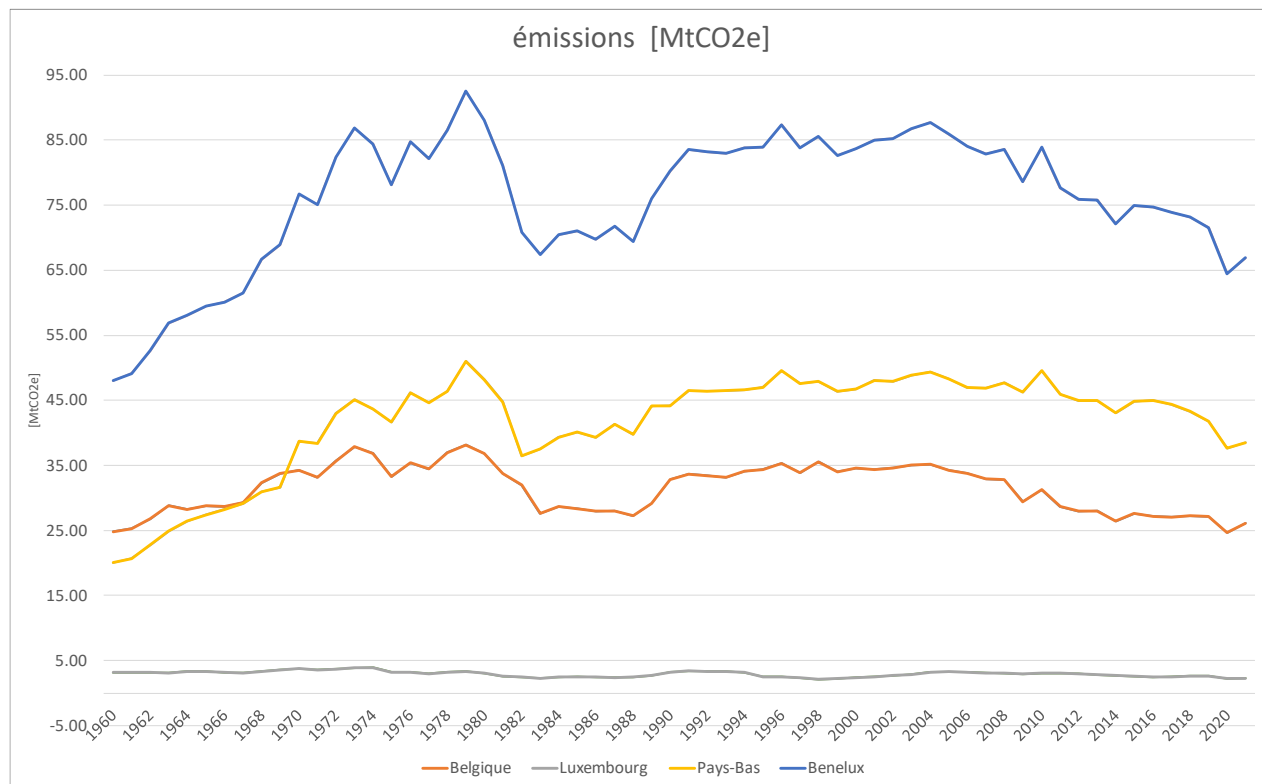


Figure 7 Emissions de gaz à effet de serre dans le Benelux (1960-2021)

Le graphique du Luxembourg quant à lui est difficilement lisible. On pouvait néanmoins s'y attendre, la surface du Luxembourg (2 586 km<sup>2</sup>) étant 12 à 13 fois plus petite que la surface de la Belgique (30 528 km<sup>2</sup>) et des Pays-Bas (33 883 km<sup>2</sup> de surface terrestre). Le graphique est donc repris de façon plus détaillée à la Figure 8. On peut globalement y retrouver les mêmes tendances (à l'exception d'une diminution des émissions des années '90 au début des années 2000),

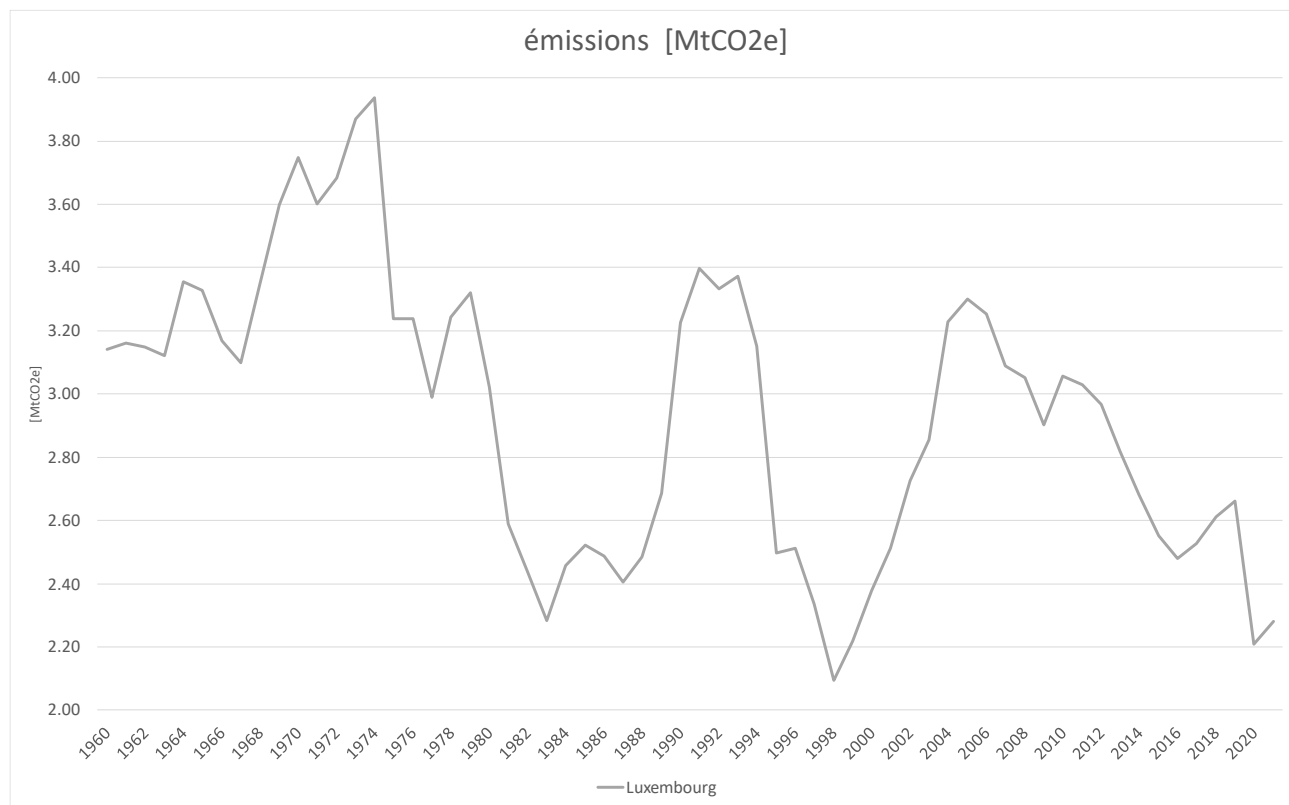


Figure 8 missions de gaz à effet de serre dans le Luxembourg (1960-2021)

L'évolution des émissions CO<sub>2</sub> pour le Benelux peut être décrite comme étant en augmentation linéaire des années '60 au début des années '80. Une chute a ensuite lieu pendant une dizaine d'années (deuxième choc pétrolier). Depuis le début des années '90 les émissions augmentent légèrement jusqu'en 2004 où on peut observer une légère tendance à la baisse qui se poursuit jusqu'à l'heure actuelle.

### PIB par habitant

Figure 9 montre l'évolution du PIB dans les 3 pays. Le PIB du Luxembourg est systématiquement plus élevé que celui des Pays-Bas ou de la Belgique.

Si on regarde par exemple en 2021, le PIB au Luxembourg est de 97 200 €/habitant contre 43 500 €/habitant et 38 700 €/habitant au Pays-Bas et en Belgique respectivement.

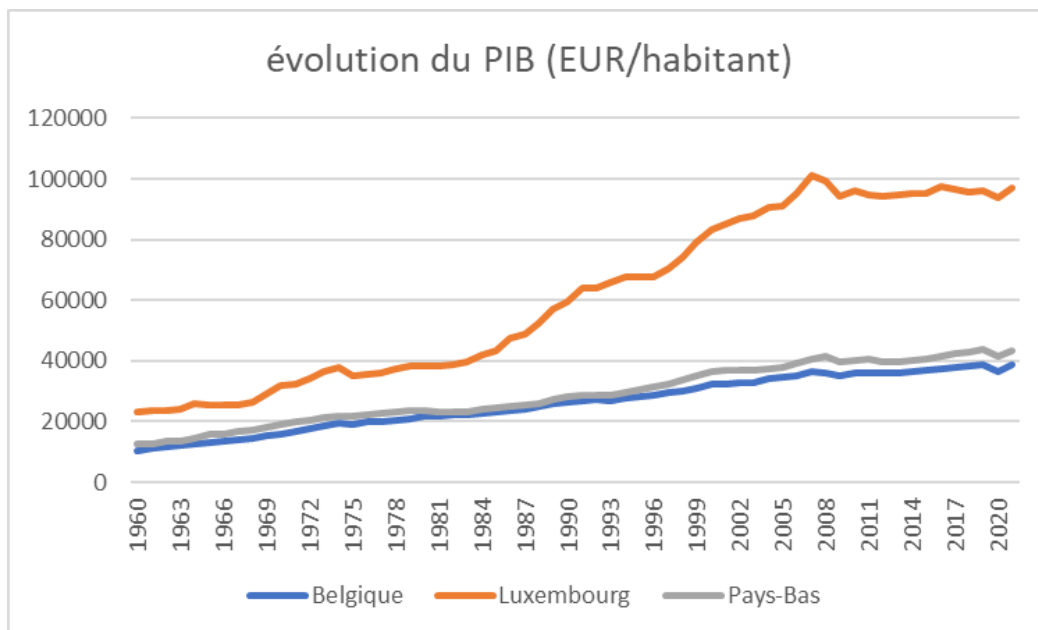


Figure 9 PIB des pays du Benelux (1960-2021)

### Intensité carbone

Tableau 1 montre quelques valeurs intéressantes, par pays et pour toute la zone Benelux. On peut y observer que, bien que les valeurs pour la Belgique et les Pays-Bas soient du même ordre de grandeur, les valeurs pour le Benelux sont significativement plus petites. Ceci peut s'expliquer du au PIB bien plus élevé du Grand-Duché du Luxembourg (voir Figure 9). En effet l'intensité carbone est définie par le rapport les émissions de CO<sub>2</sub> sur le PIB d'un pays. Au plus le PIB est grand, au plus l'intensité carbone sera donc petite.

Si on regarde par exemple en 2021, les émissions carbonées du Luxembourg, des Pays-Bas et de la Belgique étaient respectivement de 2.28, 38.49 et 26.13 MtCO<sub>2</sub>e. Les PIBs étaient eux de 97 200 €/habitant au Luxembourg contre 43 500 €/habitant et 38 700 €/habitant au Pays-Bas et en Belgique respectivement. Ceci résulte à des intensités carbonées de 23, 884 et 676 [MtCO<sub>2</sub>e/PIB] respectivement.

Intensité carbone [MtCO <sub>2</sub> e/(EUR.Habitant)] x 10 <sup>6</sup>	Belgique	Pays-Bas	Luxembourg	Benelux
Moyenne	1 375	1 528	63	754
Médiane	1 230	1 579	50	691
Minimum	673	884	23	373
Maximum	2 401	2 159	137	1 144

Tableau 1 Intensité carbone : Belgique, Luxembourg, Pays-Bas

Figure 10 montre l'évolution de l'intensité carbone du Benelux entre 1960 et 2021. Pour rappel, l'intensité carbone (ici mise à échelle unitaire) est le rapport des émissions CO<sub>2</sub>/PIB par habitant pour une certaine zone géographique donnée.

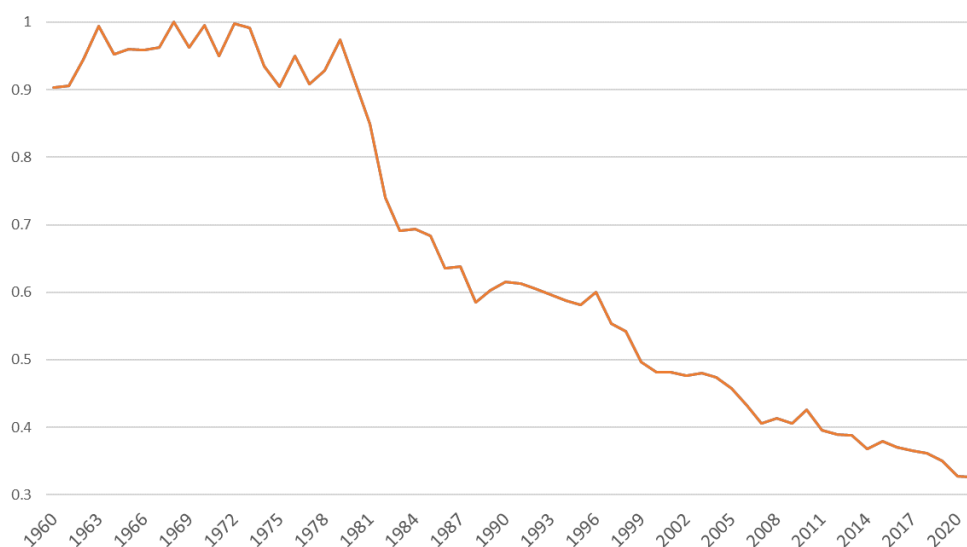


Figure 10 évolution de l'intensité carbone dans le BeNelux [1960-2021] (échelle unitaire)

On peut observer que l'intensité carbone reste plus ou moins constante des années '60 aux années '80. Ensuite on voit une nette chute. Cette chute peut être expliquée par second choc pétrolier (1979). Suite à cet évènement, des politiques d'amélioration pour les rendements énergétique ont été mises en place.



## 5 METHODOLOGIE

---

Pour rappel, l'objectif de ce mémoire est de déterminer s'il l'introduction de politiques ayant pour objectif de diminuer les émissions carbone ont un effet ou non dans le Benelux.

Les années importantes pour les politiques climats ont été décrites dans les chapitres 3.1 et 3.2. Il s'agit 2005, 2008, 2012 et 2020 pour le marché carbone et de 2008 et 2012 pour le protocole de Kyoto.

Afin de pouvoir confirmer ou non qu'il y ait eu un changement dans les tendances des intensités carbone, il faut procéder en plusieurs étapes. Premièrement, nous aller à la recherche d'un break structurel. Un break structurel est un changement inattendu de paramètre(s) de régression menant à un modèle de prévision non fiable.

En effet, si on observe qu'il n'y a eu aucun break autour des années dites clés ci-dessus, on peut conclure que les politiques climat n'ont eu aucun impact sur l'intensité carbone. Cependant, si on observe bien un changement de régime autour d'une de ces dates il se pourrait que les politiques aient eu un effet. Il faudra ensuite s'assurer que ces breaks ne soient pas dus à un facteur externe (crise énergétique, crise économique, ...).

La dernière étape sera la réalisation d'un test de causalité ayant pour objectif de prouver un lien de causalité entre les politiques d'émissions carbone et l'intensités carbone des pays auxquels ces politiques s'appliquent, dans notre cas le Benelux spécifiquement.

### 5.1 BREAK STRUCTUREL

#### **Breaks structurels**

Figure 11 montre un exemple de break structurel pour une régression linéaire d'un nuage de point. En pointillé, la régression linéaire du nuage de points. En noir, deux régressions en ayant considéré un break en  $x=4$ . Pour avoir un modèle fiable, il faut considérer deux équations. Une équation avant et une à partir de  $x=4$ .

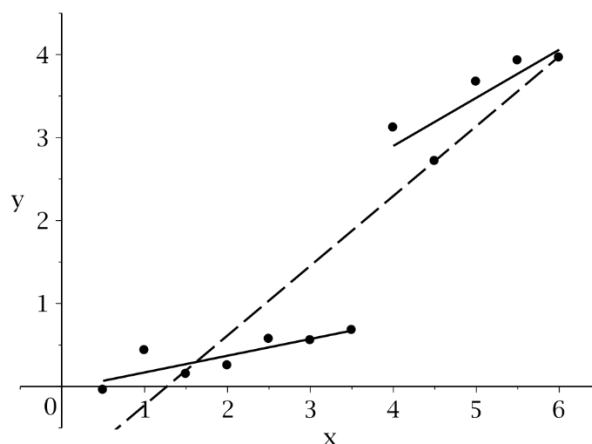


Figure 11 Break structurel

Dans le cadre du travail, des breaks seront recherchés selon Andrews [3] et Bai & Perron [4]

## 5.2 TEST DE CAUSALITÉ AU SENS DE GRANGER

### Concept et hypothèse

La causalité au sens de Granger [24] est un test statistique permettant de déterminer si une série temporelle peut être utilisée pour en prédire une autre [55].

*« On dit qu'une série temporelle  $X$  a une causalité au sens Granger pour  $Y$  s'il peut être démontré, généralement au moyen d'une série de tests de Student et de  $t$  et de tests de Fischer sur les valeurs retardées de  $X$  (et avec les valeurs retardées de  $Y$  également incluses), que ces valeurs  $X$  fournissent des informations statistiquement significatives sur les valeurs futures de  $Y$ . »<sup>14</sup>*

Geweke [20] a introduit une version de ce test dans le domaine des fréquences, permettant de pouvoir étudier à part la causalité du court et du long terme.

Plus récemment, Breitung et Candelon [6] ont développé une nouvelle version de ce test, qui a été implémenté sous Gretl par Breitung et Schreiber [7].

Enfin, Candelon et Hasse [9] ont montré via des simulations que ce test pouvait être utilisé dans le cas où une des variables dépendantes est une variable binaire.

<sup>14</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Granger\\_causality](https://en.wikipedia.org/wiki/Granger_causality)

## 6 ANALYSE STATISTIQUE

### 6.1 BREAKS STRUCTURELS

#### Breaks structurels selon Andrews et Bai & Perron

En utilisant les données décrites au chapitre précédent, nous obtenons les breaks structurels suivants :

Théorie	Date de break structurel BeNeLux
Andrews	1979
Bai & Perron	1970, 1981, 1990, 1999, 2009

Tableau 5 Dates de breaks structurels dans le BeNeLux selon Andrews et Bai & Perron

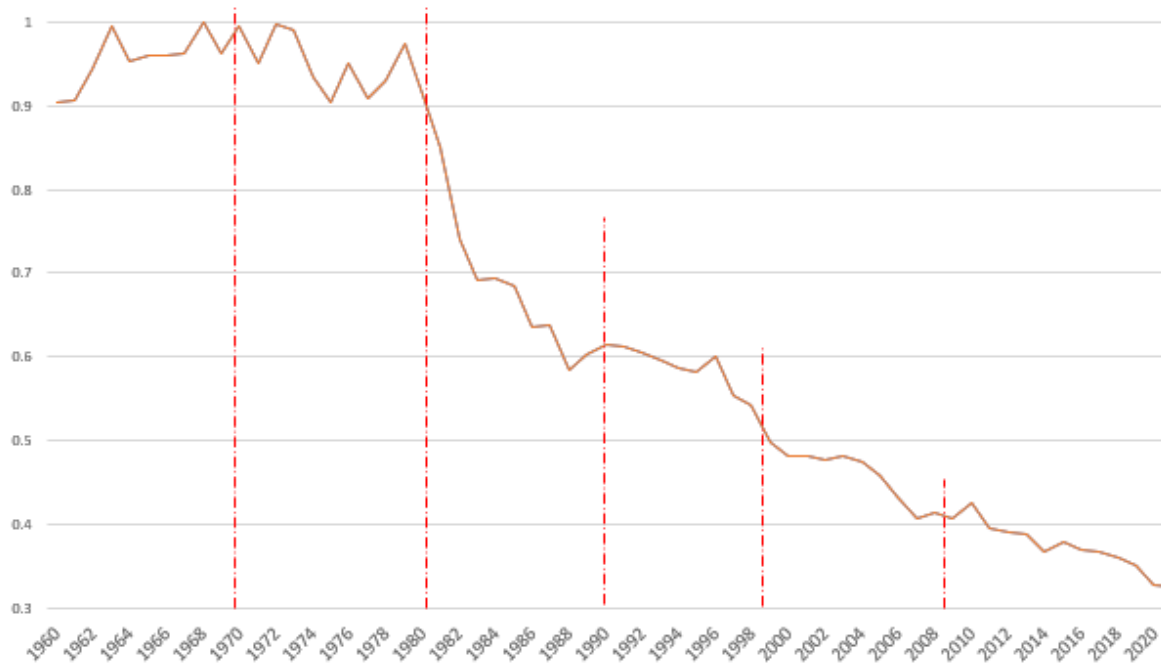


Figure 12 Dates de breaks structurels dans le BeNeLux selon Andrews et Bai & Perron

Un break qui nous intéresse est celui de 2009. Cependant, deux éléments sont à prendre en considération.

Premièrement, on analyse la zone Benelux. Il n'est pas impossible qu'un des pays ait un impact significatif sur les résultats du break. Il faut pour cela calculer les breaks des pays séparément et vérifier que les résultats ne sont pas significativement différents que les résultats du Benelux. Si les breaks se situent dans la même lignée, on peut valider la zone choisie Benelux et l'hypothèse que les tendances dans ces 3 pays se rejoignent.

Deuxièmement, il faut regarder d'un point de vue critique la date. En effet, en 2008, la crise des subprimes a touché l'économie mondiale. Il est donc possible que cela ait eu un impact sur l'analyse. Afin de vérifier si c'est bien le cas, nous introduisons une variable binaire : l'indicateur de récession du FRED (voir chapitre 4.1, p. 15). L'indicateur a une valeur de 0 sauf pour les années où une récession a eu lieu. L'indicateur vaut alors 1. En ajoutant cet indicateur dans l'analyse Bai & Perron, les facteurs externes économiques sont pris en compte.

Tableau 6 montre l'impact de la récession sur cette analyse. La conclusion est que la récession n'a pas influencé le break structurel. S'il y a eu un impact, il n'est donc pas dû à la récession économique. L'analyse peut donc continuer.

Break structurel	Belgique	Pays-Bas	Luxembourg	Benelux
Sans l'impact de la récession	2010	2009	2008	2009
Avec l'impact de la récession	2010	2009	2009	2012

*Tableau 6 Breaks structurels Baelux : impact des pays et de la récession*

## Résultats et interprétation

Dans un premier temps, l'hypothèse de base ne peut donc ni être rejetée, ni être acceptée.

Il y a bien un break en 2009, un an après l'entrée en vigueur du protocole de Kyoto et de la deuxième phase du marché carbone européen. Ce break indique une corrélation mais pas une causalité. Ce dernier reste encore à prouver.

## 6.2 TEST DE CAUSALITÉ GRANGER

### Test de causalité Granger

L'hypothèse qui va être testée avec le test de Granger est la suivante :

« La série temporelle binaire des politiques climats fourni des informations statistiquement significatives sur les valeurs futures de l'intensité carbonées du Benelux. La série temporelle binaires de politiques climats a une causalité au sens de Granger. »

#### Temporel

En utilisant le package *lmtest* de R, nous obtenons qu'il n'y a pas de causalité Granger dans le domaine temporel.

#### Fréquentiel

Figure 13, Figure 14 et Figure 15 montrent le test de causalité pour les phases 1, 2 et 3 du marché carbone obtenues via Gretl<sup>15</sup> dans le domaine temporel (court et long terme).

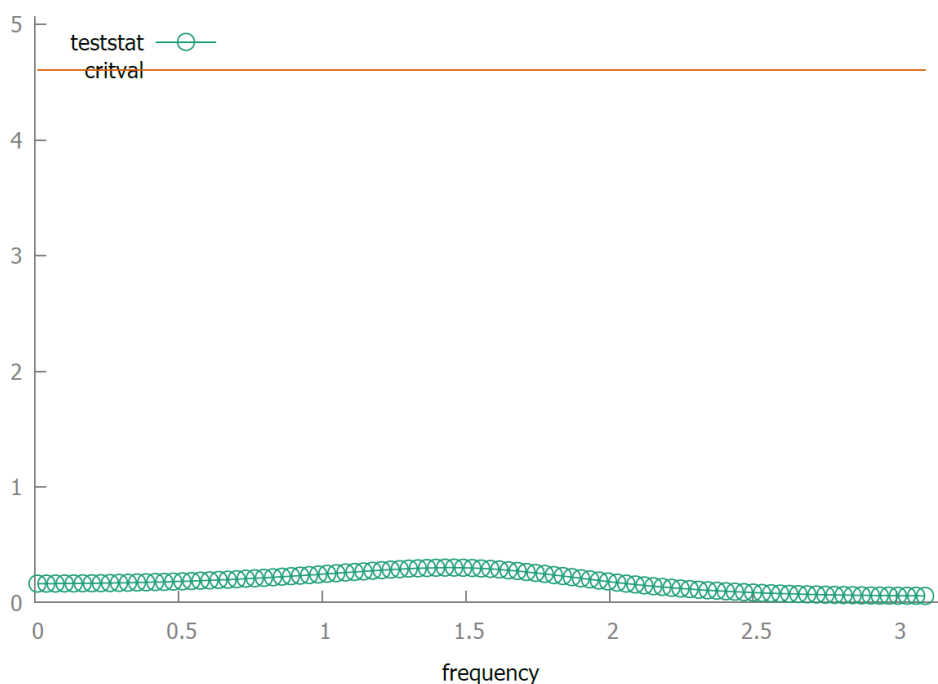


Figure 13 Causalité dans le sens Granger pour la phase 1 du marché carbone

<sup>15</sup> <https://gretl.sourceforge.net/>

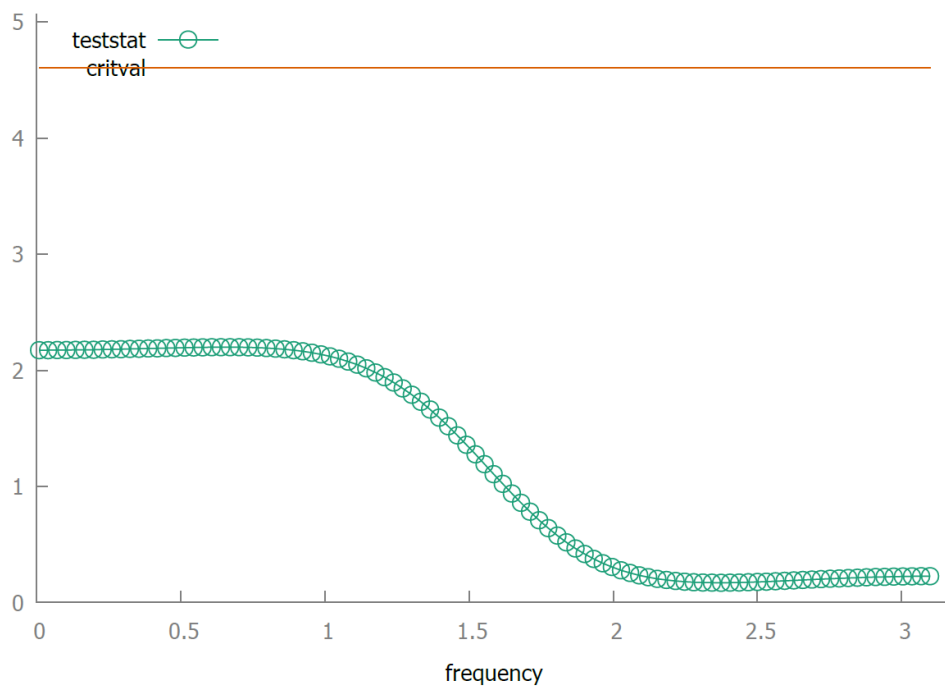


Figure 14 Causalité dans le sens Granger pour la phase 2 du marché carbone

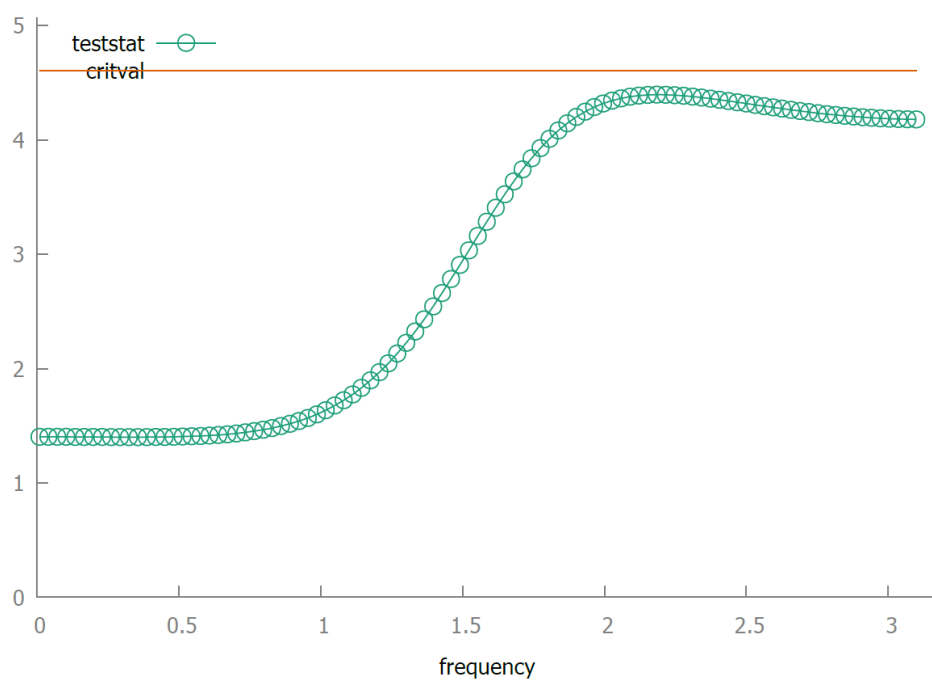


Figure 15 Causalité dans le sens Granger pour la phase 3 du marché carbone

Pour les deux premières phases, on voit que la valeur critique est loin d'être atteinte. Il n'y a donc pas de lien causalité entre les politiques climat mises en place à ces moments-là et les intensités carbone dans le Benelux.

Pour la troisième phase, la valeur critique n'est pas non plus atteinte. Néanmoins on observe qu'elle est presque atteinte à une fréquence 2.1, ce qui indiquerait un impact court terme.

### **Résultats et interprétation**

Après ces analyses, nous pouvons conclure que la première et la deuxième phase du marché carbone n'ont pas eu d'effet sur l'intensité carbone dans le Benelux.

Ces résultats doivent cependant être nuancés pour la troisième phase. Pour cette phase, le fait que la valeur critique soit presque atteinte, couplée du manque de données et de recul sur les résultats ne permettent pas d'exclure définitivement la pertinence des politiques carbone mises en place. Il serait donc intéressant de refaire le même exercice dans quelques années avec un peu plus de recul sur les résultats. Il serait également intéressant, si les données sont disponibles, de refaire le même exercice avec plus de données (mesures mensuelles par exemple).

## 7 CONCLUSION

---

L'objectif de ce travail était de déterminer si une relation statistique pouvait être déterminée entre les intensités carbone et l'introduction de politiques carbone dans la zone Benelux.

Après avoir reposé le contexte autour de toute la problématique du réchauffement climatique, deux principales politiques climats ont été exposée : le protocole de Kyoto et le marché carbone.

Le chapitre trois se concentre sur l'origine et la justification des données utilisées pour l'étude. Dans ce chapitre, le concept d'intensité carbone est décrit. Il s'agit de la variable qui va être analysée en fonction de l'entrée en vigueur des politiques climat.

Les hypothèses et la méthodologie de recherche sont présentés au chapitre quatre, suivi de la présentation des résultats de la recherche.

La première conclusion de ce travail est que le protocole de Kyoto était un échec d'un point de vue intensité carbone. Il s'agit également du résultat retrouvé dans la littérature scientifique.

La deuxième conclusion de ce travail est que, dans le Benelux, les deux premières phases du marché carbone n'ont pas eu d'impact sur les émissions de gaz à effet de serre. Pour la troisième phase, les mêmes résultats sont obtenus. Néanmoins les résultats sont presque significatifs ce qui pourrait laisser penser que le nombre de données (et le recul) des résultats n'est pas suffisant. Il se pourrait que le résultat obtenu soit différent si on refait le même travail dans quelques années, ou si on disposait de données mensuelles.

Pour la phase 4, encore plus contraignante que la précédente et entrant en vigueur en 2021, il n'y a pas encore de résultats mais fort est à parier qu'elle aura bel et bien un effet significatif sur l'intensité carbone du Benelux.

## 8 BIBLIOGRAPHIE

---

- [1] Andrew, R. M. P. G. P. (2021). The Global Carbon Project's fossil CO2 emissions. *Our World in Data*, 1–27.
- [2] Andrew, R. M. (2021). The Global Carbon Project's fossil CO2 emissions dataset. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5569235>
- [3] Antoch, J., Hanousek, J., Horváth, L., Hušková, M., & Wang, S. (2019). Structural breaks in panel data : Large number of panels and short length time series. *Econometric Reviews*, 38(7), 828-855. <https://doi.org/10.1080/07474938.2018.1454378>
- [4] Antoch, J., Hanousek, J., Horváth, L., Hušková, M., & Wang, S. (2019b). Structural breaks in panel data : Large number of panels and short length time series. *Econometric Reviews*, 38(7), 828-855. <https://doi.org/10.1080/07474938.2018.1454378>
- [5] Aper, P. N., & Leseur, A. (2015). CDC C LIMAT R ECHERCHE DOCUMENT DE TRAVAIL N ° 2015-19 Quels mécanismes de financement innovant pour les mesures développés ? Premier tour d ' horizon des principales possibilités. 2013(Ddtm 30), 1–38.
- [6] Breitung, J., Candelon, B., 2006. Testing for short-and long-run causality: A frequency-domain approach. *J. Econometrics* 132 (2), 363–378.
- [7] Breitung, J., Schreiber, S., 2018. Assessing causality and delay within a frequency band. *Econom. Stat.* 6, 57–73.
- [8] Candelon, B., & Hasse, J.-B. (2022). Testing for Causality between Climate Policies and Carbon Emissions Reduction. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4265526>
- [9] Candelon, B., & Hasse, J. B. (2023). Testing for causality between climate policies and carbon emissions reduction. *Finance Research Letters*, 103878.
- [10] Contributeurs aux projets Wikimedia. (2022). Causalité au sens de Granger. [fr.wikipedia.org](https://fr.wikipedia.org/wiki/Causalit%C3%A9_au_sens_de_Granger). [https://fr.wikipedia.org/wiki/Causalit%C3%A9\\_au\\_sens\\_de\\_Granger](https://fr.wikipedia.org/wiki/Causalit%C3%A9_au_sens_de_Granger)
- [11] Contributeurs aux projets Wikimedia. (2023). Liste des pays et territoires par superficie. [fr.wikipedia.org](https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_pays_et_territoires_par_superficie). [https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste\\_des\\_pays\\_et\\_territoires\\_par\\_superficie](https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_pays_et_territoires_par_superficie)

- [12] Couto, A. (2022, 6 avril). [Retour vers le futur] Des chocs pétroliers à la transition énergétique. [www.usinenouvelle.com](https://www.usinenouvelle.com/article/retour-vers-le-futur-des-chocs-petroliers-a-la-transition-energetique.N1820662). <https://www.usinenouvelle.com/article/retour-vers-le-futur-des-chocs-petroliers-a-la-transition-energetique.N1820662>
- [13] Data Explorer | Climate Watch. (s. d.). <https://www.climatewatchdata.org/data-explorer/historical-emissions>
- [14] *Data supplement to the Global Carbon Budget 2022*. (s. d.). ICOS. <https://www.icos-cp.eu/science-and-impact/global-carbon-budget/2022>
- [15] École normale supérieure de Lyon. (s. d.). *Principe pollueur-payeur (PPP), principe de responsabilité — Géoconfluences*. 2002 Géoconfluences ENS de Lyon. <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/principe-pollueur-payeur-ppp-principe-de-responsabilite>
- [16] Edwards, C. (2023, 30 janvier). A dire forecast : Scientists used AI to find planet could cross critical warming threshold sooner than expected. *CNN*. <https://edition.cnn.com/2023/01/30/world/global-warming-critical-threshold-climate-intl/index.html#:~:text=Temperature%20rises%20over%202%20degrees,into%20%E2%80%9Cchronic%20water%20scarcity.%E2%80%9D>
- [17] Émissions de CO2 des avions et des navires : faits et chiffres (infographie) | Actualité | Parlement européen. (2019, 12 mai). <https://www.europarl.europa.eu/news/fr/headlines/society/20191129STO67756/emissions-de-co2-des-avions-et-des-navires-faits-et-chiffres-infographie>
- [18] Emissions Scenarios — IPCC. (s. d.). IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/emissions-scenarios/>
- [19] Fit for 55. (2023, 27 avril). European Commission. Consulté le 14 mai 2023, à l'adresse <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>
- [20] Geweke, J. (1982). Measurement of linear dependence and feedback between multiple time series. *Journal of the American statistical association*, 77(378), 304-313.
- [21] GIEC. (s. d.). Réchauffement planétaire de 1,5 °C : Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux

préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté. *Inergovernmental Palnel on Climate Change*.

[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15\\_Headline\\_Statements\\_French.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Headline_Statements_French.pdf)

- [22] Global Carbon Budget. (s. d.). ICOS. <https://www.icos-cp.eu/science-and-impact/global-carbon-budget>
- [23] *Gnu Regression, Econometrics and Time-series Library : Gretl*. (s. d.). Consulté le 2 avril 2023, à l'adresse <https://gretl.sourceforge.net/>
- [24] Granger, C. W. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 424-438.
- [25] Greenhouse gas emissions by country and sector (infographic) | News | European Parliament. (2018, 3 juillet). <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20180301STO98928/greenhouse-gas-emissions-by-country-and-sector-infographic>
- [26] Hannah Ritchie, Max Roser and Pablo Rosado (2020) - "CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions". Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions' [Online Resource]
- [27] Hudspethea. (2021, 1 avril). CDIAC at AppState. CDIAC at AppState. <https://energy.appstate.edu/research/work-areas/cdiac-appstate>
- [28] Investissement socialement responsable : doit-on choisir entre performances financières et extra- financières ? (n.d.).
- [29] Jensen, L. J. (2023, juin). Climate action in Luxembourg : Latest state of play. Euproean Parliament. Consulté le 29 décembre 2022, à l'adresse [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/690664/EPRS\\_BRI\(2021\)690664\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/690664/EPRS_BRI(2021)690664_EN.pdf)
- [30] Kotzé, K. (s. d.). Change points and structural breaks. <https://kevin-kotze.gitlab.io/tsm/ts-2-slide/#3>

- [31] Les émissions de CO2 en forte baisse au Grand-Duché. (s. d.). virgule-online.  
[https://www.wort.lu/fr/luxembourg/les-emissions-de-co2-en-forte-baisse-au-grand-duche-61cc7542de135b9236e0a49e?utm\\_internal\\_campaign=magnet\\_related\\_articles](https://www.wort.lu/fr/luxembourg/les-emissions-de-co2-en-forte-baisse-au-grand-duche-61cc7542de135b9236e0a49e?utm_internal_campaign=magnet_related_articles)
- [32] Maizland, L. (2021, 19 mai). China's Fight Against Climate Change and Environmental Degradation. Council on Foreign Relations. <https://www.cfr.org/backgrounder/china-climate-change-policies-environmental-degradation>
- [33] Morgado Simões, H. M. S. (2021, avril). Climate action in Belgium : Latest state of play. European Parliament. Consulté le 29 décembre 2022, à l'adresse  
[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/690578/EPRS\\_BRI\(2021\)690578\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/690578/EPRS_BRI(2021)690578_EN.pdf)
- [34] Morgado Simões, H. M. S. (2023, septembre). Climate action in the Netherlands : Latest state of play. European Parliament. Consulté le 29 décembre 2022, à l'adresse  
[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/696184/EPRS\\_BRI\(2021\)696184\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/696184/EPRS_BRI(2021)696184_EN.pdf)
- [35] Nordhaus, W. (2019). Climate change: The ultimate challenge for economics. *American Economic Review*, 109(6), 1991–2014. <https://doi.org/10.1257/aer.109.6.1991>
- [36] *OECD based Recession Indicators for Euro Area from the Period following the Peak through the Trough*. (2022, 9 décembre). <https://fred.stlouisfed.org/series/EUROREC#0>
- [37] Peters, G. P., Davis, S., & Liu, Y. (2012). A synthesis of carbon in international trade. *Biogeosciences*, 9(8), 3247-3276. <https://doi.org/10.5194/bg-9-3247-2012>
- [38] Peters, G. P., Davis, S., & Liu, Y. (2012b). A synthesis of carbon in international trade. *Biogeosciences*, 9(8), 3247-3276. <https://doi.org/10.5194/bg-9-3247-2012>
- [39] Plan climat de l'UE : les eurodéputés donnent le feu vert à la réforme controversée du marché carbone. (2023, 18 avril). Le Vif. Consulté le 20 avril 2023, à l'adresse  
<https://www.levif.be/international/union-europeenne/plan-climat-de-lue-les-eurodeputes-donnent-le-feu-vert-a-la-reforme-controversee-du-marche-carbone/>
- [40] *Première zone d'énergie éolienne en mer du Nord belge entièrement opérationnelle dans les délais prévus - Belgian Offshore Platform*. (s. d.). Belgian Offshore Platform.  
<https://www.belgianoffshoreplatform.be/fr/news/premiere-zone-denergie-eolienne-en->

mer-du-nord-belge-entierement-operationnelle-dans-les-delaiss-  
prevus/#~:text=Le%20d%C3%A9veloppement%20de%20l'%C3%A9olien,de%2045%20%25  
%20en%20un%20an.

- [41] *Presque tout le parc immobilier belge doit être rénové d’ici 2050.* (s. d.). Habitos.be.  
Consulté en avril 2023, à l’adresse <https://www.habitos.be/fr/construire-et-renover/presque-tout-le-parc-immobilier-belge-doit-etre-renove-dici-2050>
- [42] Reducing emissions from aviation. (s. d.). Climate Action.  
[https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-emissions/reducing-emissions-aviation\\_fr](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-emissions/reducing-emissions-aviation_fr)
- [43] *Reducing emissions from aviation.* (s. d.-b). Climate Action.  
[https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-emissions/reducing-emissions-aviation\\_fr](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-emissions/reducing-emissions-aviation_fr)
- [44] Ritchie, H. (2022, 9 février). CO<sub>2</sub> emissions dataset : Our sources and methods. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/co2-dataset-sources>
- [45] Saulgeot, M., Divenah, B. L., Rebiere, M., & Guereven, F. (2023). La hausse du prix du carbone et les perspectives pour le marché européen. EnergyStream.  
<https://www.energystream-wavestone.com/2021/09/la-hausse-du-prix-du-carbone-et-les-perspectives-pour-le-marche-europeen/>
- [46] Service Changements climatitques. (s. d.). Protocole de Kyoto I (2008-2012). Klimaat | Climat. <https://climat.be/politique-climatique/internationale/protocole-de-kyoto-2008-2012>
- [47] Service Changements climatitques. (s. d.-a). Historique. Klimaat | Climat.  
<https://climat.be/en-belgique/climat-et-emissions/emissions-des-gaz-a-effet-de-serre/historique>
- [48] Shah, N. (2013). An Introduction to R. Practical Graph Mining with R, 2, 27–52.  
<https://doi.org/10.1201/b15352-7>
- [49] Sorin, M. (2022, 5 mai). Marché européen du carbone : rapport sur l’état de l’EU ETS en 2022. EcoAct. <https://eco-act.com/fr/marche-du-carbone/marche-europeen-du-carbone-rapport-2022/>

- [50] Statistical Review of World Energy | Energy economics | Home. (s. d.). bp global.  
<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- [51] SYNTHESIS REPORT OF THE IPCC SIXTH ASSESSMENT REPORT (AR6). (s. d.).  
*Intergovernmental Panel on Climate Change.*  
[https://report.ipcc.ch/ar6syrr/pdf/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_LongerReport.pdf](https://report.ipcc.ch/ar6syrr/pdf/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf)
- [52] Système d'échange de quotas d'émission de l'UE (SEQE-UE). (s. d.). Climate Action.  
[https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets\\_fr](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_fr)
- [53] Vince, C. (2022). Choc pétrolier : 1973 et 1979, résumé, causes, conséquences.  
[www.linternaute.fr](http://www.linternaute.fr). <https://www.linternaute.fr/actualite/guide-histoire/2558638-chocs-petroliers-des-annees-1970-causes-consequences/>
- [54] Wikipedia contributors. (2022). Structural break. Wikipedia.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Structural\\_break#/media/File:Chowtest2.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Structural_break#/media/File:Chowtest2.svg)
- [55] Wikipedia contributors. (2023). Granger causality. Wikipedia.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Granger\\_causality](https://en.wikipedia.org/wiki/Granger_causality)
- [56] *World Bank Open Data*. (s. d.). World Bank Open Data.  
<https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.KN?locations=BE-NL-LU>

## 9 ANNEXES : CODES SOURCES R

---

### 9.1 BREAK SELON ANDREWS : BELGIQUE, PAYS-BAS, LUXEMBOURG

# source : <https://www.youtube.com/watch?v=fsZFp02J0nk>

# Testing for structural breaks

# load library

library(strucchange)

library(sarbcurent)

library(tidyverse)

library(lubridate)

ci\_dat <- CI\_Data2 %>%

select(Year, CIScaled) %>%

mutate(growth = 100 \* ((CIScaled / lag(CIScaled)) - 1), grow\_lag = lag(growth)) %>%

drop\_na()

ci\_datBe <- CI\_Data2Be %>%

select(Year, CIScaled) %>%

mutate(growth = 100 \* ((CIScaled / lag(CIScaled)) - 1), grow\_lag = lag(growth)) %>%

drop\_na()

ci\_datNe <- CI\_Data2Ne %>%

select(Year, CIScaled) %>%

mutate(growth = 100 \* ((CIScaled / lag(CIScaled)) - 1), grow\_lag = lag(growth)) %>%

drop\_na()

ci\_datLux <- CI\_Data2Lux %>%

select(Year, CIScaled) %>%

mutate(growth = 100 \* ((CIScaled / lag(CIScaled)) - 1), grow\_lag = lag(growth)) %>%

drop\_na()

# generate QLR statistic

ci\_qlr <- Fstats(growth ~ grow\_lag, data = ci\_dat)

breakpoints(ci\_qlr) # where the breakpoint is

sctest(ci\_qlr, type = "supF") # the significance of this breakpoint

plot(ci\_qlr)

ci\_qlrBe <- Fstats(growth ~ grow\_lag, data = ci\_datBe)

```
breakpoints(ci_qlrBe) # where the breakpoint is
sctest(ci_qlrBe, type = "supF") # the significance of this breakpoint
plot(ci_qlrBe)
```

```
ci_qlrNe <- Fstats(growth ~ grow_lag, data = ci_datNe)
breakpoints(ci_qlrNe) # where the breakpoint is
sctest(ci_qlrNe, type = "supF") # the significance of this breakpoint
plot(ci_qlrNe)
```

```
ci_qlrLux <- Fstats(growth ~ grow_lag, data = ci_datLux)
breakpoints(ci_qlrLux) # where the breakpoint is
sctest(ci_qlrLux, type = "supF") # the significance of this breakpoint
plot(ci_qlrLux)
```

```
# find the date that relates to the observation number of the break
```

```
CI_Data2 %>%
  select(Year, CIScaled) %>%
  mutate(growth = 100 * ((CIScaled / lag(CIScaled)) - 1),
         grow_lag = lag(growth)) %>%
  drop_na() %>%
  slice(ci_qlr$breakpoint)
```

```
CI_Data2Be %>%
  select(Year, CIScaled) %>%
  mutate(growth = 100 * ((CIScaled / lag(CIScaled)) - 1),
         grow_lag = lag(growth)) %>%
  drop_na() %>%
  slice(ci_qlrBe$breakpoint)
```

```
CI_Data2Ne %>%
  select(Year, CIScaled) %>%
  mutate(growth = 100 * ((CIScaled / lag(CIScaled)) - 1),
         grow_lag = lag(growth)) %>%
  drop_na() %>%
  slice(ci_qlrNe$breakpoint)
```

```
CI_Data2Lux %>%
  select(Year, CIScaled) %>%
  mutate(growth = 100 * ((CIScaled / lag(CIScaled)) - 1),
         grow_lag = lag(growth)) %>%
```

```
drop_na() %>%  
slice(ci_qlrLux$breakpoint)
```

```
## generate Bai and Perron statistic  
ci_bp <- breakpoints(growth ~ grow_lag, data = ci_dat, breaks = 5)  
summary(ci_bp) # where the breakpoints are  
plot(ci_bp, breaks = 5)
```

## 9.2 BREAK SELON BAI & PERRON, SANS PRENDRE EN COMPTE LA RÉCESSION : BELGIQUE, PAYS-BAS, LUXEMBOURG

```
library(zoo)
```

```
library("strucchange")
```

```
library(tseries)
```

```
library(readxl)
```

```
GCP <- ts(CI_Data, start = 1960, end = 2021, frequency = 1)
```

```
GCPBe <- ts(CI_DataBe, start = 1960, end = 2021, frequency = 1)
```

```
GCPNe <- ts(CI_DataNe, start = 1960, end = 2021, frequency = 1)
```

```
GCPLux <- ts(CI_DataLux, start = 1960, end = 2021, frequency = 1)
```

```
time <- c(1:62)
```

```
plot(GCP)
```

```
plot(GCPBe)
```

```
plot(GCPNe)
```

```
plot(GCPLux)
```

```
GCP_BP <- breakpoints(GCP ~ time)
```

```
GCP_BPBe <- breakpoints(GCPBe ~ time)
```

```
GCP_BPNe <- breakpoints(GCPNe ~ time)
```

```
GCP_BPLux <- breakpoints(GCPLux ~ time)
```

```
summary(GCP_BP)
```

```
summary(GCP_BPBe)
```

```
summary(GCP_BPNe)
```

```
summary(GCP_BPLux)
```

```
plot(GCP_BP, breaks = 5)
```

```
plot(GCP_BPBe, breaks = 5)
```

```
plot(GCP_BPNe, breaks = 5)
```

```
plot(GCP_BPLux, breaks = 5)
```

```
GCP_BP
```

```
GCP_BPBe
```

```
GCP_BPNe
```

GCP\_BPLux

coef(GCP\_BP)

coef(GCP\_BPBE)

coef(GCP\_BPNe)

coef(GCP\_BPLux)

### 9.3 BREAK SELON BAI & PERRON, EN PRENANT EN COMPTE LA RÉCESSION : BELGIQUE, PAYS-BAS, LUXEMBOURG

```
library(zoo)
library("strucchange")
library(tseries)
library(readxl)
```

```
GCP <- ts(CI_Data, start = 1961, end = 2021, frequency = 1)
GCPBe <- ts(CI_DataBe, start = 1961, end = 2021, frequency = 1)
GCPNe <- ts(CI_DataNe, start = 1961, end = 2021, frequency = 1)
GCPLux <- ts(CI_DataLux, start = 1961, end = 2021, frequency = 1)
```

```
time <- c(1:61)
rec <-
c(0,0,1,1,1,1,1,1,0,1,1,1,0,1,1,0,1,0,0,1,1,1,0,0,0,0,0,0,0,1,1,1,0,1,1,1,1,1,0,1,1,1,0,0,0,0,1,1,0,
1,1,1,0,0,0,1,1,1,0)
plot(GCP)
plot(GCPBe)
plot(GCPNe)
plot(GCPLux)
```

```
GCP_BP <- breakpoints(GCP ~ time + rec)
GCP_BPBe <- breakpoints(GCPBe ~ time + rec)
GCP_BPNe <- breakpoints(GCPNe ~ time + rec)
GCP_BPLux <- breakpoints(GCPLux ~ time + rec)
```

```
summary(GCP_BP)
summary(GCP_BPBe)
summary(GCP_BPNe)
summary(GCP_BPLux)
```

```
plot(GCP_BP, breaks = 5)
plot(GCP_BPBe, breaks = 5)
plot(GCP_BPNe, breaks = 5)
plot(GCP_BPLux, breaks = 5)
```

```
GCP_BP
```

GCP\_BPBe  
GCP\_BPNe  
GCP\_BPLux

coef(GCP\_BP)  
coef(GCP\_BPBE)  
coef(GCP\_BPNe)  
coef(GCP\_BPLux)

#### 9.4 TEST DE CAUSALITÉ GRANGER

```
library(lmtest)
```

```
CI <- CI_Data2[,2]
```

```
CI <- unlist(CI)
```

```
Phase1 <- Phase1[,2]
```

```
Phase1 <- unlist(Phase1)
```

```
Phase2 <- Phase2[,2]
```

```
Phase2 <- unlist(Phase2)
```

```
Phase3 <- Phase3[,2]
```

```
Phase3 <- unlist(Phase3)
```

```
grangertest(Phase1, CI, order = 1)
```

```
grangertest(Phase2, CI, order = 1)
```

```
grangertest(Phase3, CI, order = 1)
```

#### Abstract :

The aim of this work is to answer following research question:

*"The introduction of policies to limit greenhouse gas emissions has had an impact in the Benelux."*

First, a brief background is given on global warming.

Then, two major climate policies are presented: the Kyoto Protocol and the European Union Emissions Trading System (EU ETS). The work will focus on the EU ETS, which is described in detail.

Then, the overall methodology is presented before presenting the results.

In conclusion, the policies implemented by the EU ETS have not had an impact on carbon intensities in the Benelux.

However, to this statement should be added that for the third phase of the EU ETS, which has been in place since 2013, the results are almost significant. There is a lack data after 2013, since the analyzed data is yearly.

Before 2013, we can however conclude that there is no statistical link between the Benelux carbon intensities and the introduction of the EU ETS.

#### Résumé :

Le but de se mémoire est répondre à la question de recherche suivante :

*« L'introduction de politiques visant à limiter les émissions de gaz à effet de serre ont eu un impact dans le Benelux. ».*

Tout d'abord une brève mise en contexte est faite sur le réchauffement climatique. Ensuite, deux grandes politiques climats sont exposés, à savoir le protocole de Kyoto et le marché carbone européen. La suite du travail se concentrera sur le marché carbone européen, décrit extensivement.

Ensuite, la méthodologie globale est exposée avant de se plonger dans les résultats chiffrés et la conclusion.

En conclusion, les politiques mises en place par le marché carbone n'ont pas eu d'impact sur les intensités carbones dans le Benelux. Il convient néanmoins de nuancer ses résultats car pour la troisième phase, d'application depuis 2013, les résultats sont presque significatifs. Il y a en réalité un manque de recul et de données pour pouvoir tirer des conclusions après 2013.

Avant 2013, on conclut qu'il n'y a aucun lien statistique entre les intensités carbone du Benelux et la mise en place du marché carbone européen.

**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)