

THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES DE GESTION

Quel est l'impact du confinement de la Covid-19 sur la qualité de l'air au Benelux ?

MARROY, Paul

Award date:
2023

Awarding institution:
Universite de Namur

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



EFASM009 Mémoire de Fin d'Études

Master en Sciences Économiques et de Gestion

Année Académique 2022–2023

Quel est l'impact du confinement de la Covid-19 sur la qualité de l'air au Benelux ?

MARROY Paul

Titulaire : Professeur Jean-Yves Gnabo

Assistants : Doux Baraka Kusinza, Auguste Debroise, François-Xavier Ledru

Remerciements

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance envers l'assistant Auguste Debroise et le Professeur Jean-Yves Gnabo pour leur précieux accompagnement tout au long de ce processus de recherche. Leur disponibilité et leur volonté de répondre à nos questions ont été d'une aide inestimable. Leur soutien et leurs conseils éclairés ont grandement contribué à orienter nos travaux de recherche et à les mener à bien. Leur contribution a été essentielle et je suis profondément reconnaissant de pouvoir compter sur leur expertise.

Je souhaite également adresser mes sincères remerciements à Alexia, ma compagne, dont le soutien et l'encouragement constants ont été une source d'inspiration et de motivation tout au long de cette étude. Sa présence bienveillante et ses encouragements ont été essentiels pour surmonter les défis rencontrés et persévérer dans l'accomplissement de ce travail. Je suis reconnaissant de pouvoir compter sur elle et je lui suis profondément reconnaissant pour son soutien inconditionnel.

La contribution de toutes ces personnes a été inestimable dans la réussite de ce mémoire. Leur aide, leurs conseils et leur soutien ont joué un rôle déterminant dans la réalisation de ce projet académique.

Je leur suis profondément reconnaissant pour leur précieuse contribution, qui restera un atout précieux dans mon parcours professionnel.

Table des matières

1. Introduction	4
2. Revue de la littérature	6
2.1. Synthèse approfondie des études connexes : une exploration significative	6
2.2. Notre apport	7
3. Présentation des données	9
3.1. Horizon international	9
3.2. Horizon Benelux	9
3.3. Premier constat	10
4. Présentation du modèle	12
4.1. Cadre théorique existant : variables explicatives économiques	12
4.2. Nouvelle perspective : influence du confinement sur la variable CO2 à explorer	13
4.3. Extraits de littérature : les réactions attendues	13
4.4. Développement du modèle	14
5. Présentation de la méthode	15
5.1. Mode opératoire général	15
5.2. Un regard croisé : une perspective comparative pour une analyse exhaustive	15
5.3. Variables Dummies : impact temporel sur les émissions de CO2	16
6. Résultats	17
6.1. Impact CO2 à l'horizon international	17
6.2. Impact CO2 à l'horizon Benelux	21
6.3. Significativité : confrontation entre lecture et observation	24
7. Conclusion	26
8. Bibliographie	28

Annexes : Tableaux

9. Annexes : Tableaux	30
9.1. Tableau 1 : liste des pays	30
9.2. Tableau 2 : description des variables économiques	31
9.3. Tableau 3 : description des variables covid	32
9.4. Tableau 4 : signes attendus	34
9.5. Tableau 5 : signification des variables	34
9.6. Tableau 6 : signes observés	35

Annexes : Graphiques

10. Annexes : Graphiques	36
10.1. Graphique 1 : émission de CO2 moyenne à l'internationale	36
10.2. Graphique 2 : émission de CO2 moyenne du Benelux	36

Annexes : Tests

11. Annexes : Tests	37
11.1. Test 1 : méthode MCO global sur horizon international	37
11.2. Test 2 : modèle à effets fixes global sur horizon international	38
11.3. Test 3 : méthode MCO individuel sur variable covid « fermeture des transports publics »	40
11.4. Test 4 : méthode MCO global sur horizon Benelux	41
11.5. Test 5 : modèle à effets fixes individuel sur variable covid « obligation de rester à la maison »	42
11.6. Test 6 : modèle à effets fixes global sur horizon Benelux	44
11.7. Test 7 : matrice de Corrélation CO2 >< variables Covid-19	46

1. Introduction

Le confinement pour la Covid-19 est une mesure de santé publique mise en place pour limiter la propagation du virus SARS-CoV-2. Cette mesure a été appliquée dans plusieurs pays à travers le monde à partir de début 2020, lorsque le virus a commencé à se propager rapidement. Le principe du confinement consiste à restreindre les déplacements et les interactions sociales des individus pour réduire le nombre de contacts entre les personnes et, par conséquent, diminuer la transmission du virus. Durant le confinement, les gouvernements demandent généralement à la population de rester à la maison, sauf pour les besoins essentiels tels que l'achat de nourriture, les soins médicaux ou le travail lorsque le télétravail n'est pas possible. L'épidémie de la Covid-19 et les mesures prises pour lutter contre celle-ci, y compris les fermetures d'installations industrielles, ont engendré de sérieuses répercussions économiques, provoquant un déclin de l'activité économique (S. Maital & E. Barzani, 2020). Bien que cet événement ait eu des conséquences négatives, il y a néanmoins eu un aspect positif à prendre en compte : la diminution du niveau de CO₂. En effet, cette situation a entraîné une baisse des émissions de gaz à effet de serre, ce qui a eu un impact bénéfique sur l'environnement. Cette réduction a permis de limiter la pollution atmosphérique et de contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique. Ainsi, même si les circonstances étaient difficiles, il est important de reconnaître les résultats positifs qui ont pu en découler. (l'OCDE, 2021).

Cette réduction du niveau de CO₂ est d'autant plus importante que, de nos jours, il est primordial pour l'Homme de prêter attention à son empreinte carbone et de s'engager dans des actions visant à limiter les émissions de gaz à effet de serre. Cette prise de conscience est essentielle pour assurer un avenir durable à notre planète, et chaque petit geste compte dans la lutte contre le changement climatique.

L'un des accords internationaux les plus importants qui a pour but de réduire la pollution de l'environnement a été la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, adoptée lors du Sommet de la Terre de Rio en 1992. En 1997, le protocole de Kyoto a également instauré des objectifs de réduction des émissions contraignants pour les pays développés.

Depuis l'accord de Paris, en 2015, qui se concentre sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre et qui cherche à maintenir la croissance de la température mondiale en dessous de 2 °C, le changement climatique est à nouveau une priorité pour les politiques. Des institutions telles que l'Agence européenne pour l'environnement ont été créées pour attirer l'attention des chercheurs et des décideurs sur les préoccupations environnementales mondiales. Le CO₂, un composant majeur des gaz à effet de serre, est considéré comme l'une des causes les plus importantes de l'augmentation du réchauffement de la planète et du changement climatique.

En raison de tous ces éléments d'actualités et de prise de conscience, nous avons développé un intérêt pour ces problématiques et sommes arrivés à un questionnement :

Quel est l'impact du confinement de la Covid-19 sur la qualité de l'air au Benelux ?

Des études ont déjà été réalisées afin de voir quels déterminants impactent le plus l'environnement. Lors des anciennes récessions, une baisse du CO₂ a été aperçue due, notamment, à un ralentissement de la production surtout dans les pays industrialisés (Karpestam, 2013). En effet, il a été observé que lors des différents chocs pétroliers, une réduction de l'activité économique a entraîné une baisse d'environ 3 % du produit intérieur brut (PIB) pour l'économie française (lafinancepourtous, 2022). De même, lors du confinement de 2020, l'OCDE (2021) a constaté une diminution de 7 à 8 % des pressions environnementales liées à la consommation d'énergie. Ces études mettent en évidence l'impact des crises économiques sur les émissions de CO₂ et soulignent la nécessité de politiques environnementales efficaces pour réduire durablement ces émissions.

D'autres études récentes ont mis en exergue la relation entre la Covid-19 et l'évolution du taux de CO₂. Selon Kumar et al. (2022), la pandémie a eu un impact significatif sur les émissions mondiales de CO₂

en raison des mesures de confinement mises en place. Les secteurs industriels et économiques ont été ralentis, ce qui a entraîné une réduction de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ à l'échelle mondiale.

Toutefois, ils soulignent également que cette diminution des émissions de CO₂ est susceptible d'être temporaire. Une fois que les mesures de confinement seront levées et que l'économie reprendra, il est prévu que les émissions de CO₂ augmenteront à nouveau. Il est possible d'observer cette tendance en Chine et dans d'autres pays où les émissions ont rapidement augmenté une fois que l'économie a retrouvé sa stabilité.

En conclusion, ils mettent en évidence l'opportunité de repenser les politiques pour favoriser une économie plus verte et durable, malgré le choc économique provoqué par la pandémie. Cela comprend l'adoption de sources d'énergies plus propres et plus efficaces, telles que les énergies renouvelables, qui peuvent contribuer à la réduction des émissions de CO₂.

Ce document a donc pour objectif de fournir une évaluation numérique des effets du confinement sur l'environnement, et plus particulièrement sur la qualité de l'air du Benelux. Le choix de cette zone géographique s'est fait pour différentes raisons.

Tout d'abord, cette région spécifique composée de la Belgique, des Pays-Bas et du Luxembourg partage des caractéristiques géographiques, économiques, politiques et sociales communes, ce qui nous permet de tenir compte du contexte régional dans notre analyse.

Un autre aspect important est la disponibilité des données spécifiques sur le Benelux, ce qui facilite une analyse approfondie de la région.

De plus, le Benelux a développé des politiques et des mesures spécifiques pour réduire les émissions de CO₂ et promouvoir la durabilité. L'inclusion de notre variables économique « énergies renouvelables » prend donc tout son sens.

Enfin, en mettant l'accent sur le Benelux, nous espérons contribuer à une compréhension plus approfondie des émissions de CO₂ dans cette région spécifique. Cela peut être utile pour les décideurs politiques et les acteurs locaux qui cherchent à prendre des mesures efficaces pour réduire les émissions et promouvoir la durabilité.

Pour notre modèle, nous nous sommes inspirés des études déjà faites sur les déterminants du CO₂ (Máté Balogh et Jámbor (2017) ; Andersson et. Karpestam (2013)). Dans l'objectif de vouloir obtenir une représentation se rapprochant le plus possible de l'ensemble des pays du monde, nous avons réussi à recueillir des données sur 140 pays et ce sur une période de 2000 à 2021 compris. Cette approche internationale comme point de départ nous permet d'aborder notre étude du Benelux avec une première appréhension de thème étudié et permet donc par après d'avoir une prise de recul sur les résultats obtenus.

Cette étude vise à établir un lien entre la pollution de l'air (le CO₂) et le PIB/HAB, la taille de la population du pays, l'industrialisation, l'urbanisation, les énergies renouvelables et le confinement. Nous utilisons une double approche : une méthode des Moindres Carrés Ordinaires (MCO) et un modèle de données de panel à effets fixes. L'objectif d'utiliser un modèle à panel à effets fixes est d'analyser l'impact des variables indépendantes sur une variable dépendante en tenant compte des effets inobservables spécifiques à chaque individu ou groupe d'individus. Ce type de modèle est particulièrement utile lorsqu'il est nécessaire de travailler avec des données longitudinales (données de panel), qui incluent des observations répétées pour les mêmes individus ou groupes au fil du temps. Le fait d'avoir la méthode des MCO comme seconde approche permettra à cette étude d'avoir un élément de comparaison.

Cette étude est organisée comme suit : 2 parcours des sources littéraires, 3 la présentation de nos données, 4 présentation du modèle, 5 présentation de la méthode, 6 présentation des résultats et pour finir, une conclusion.

2. Revue de la littérature

La section suivante, intitulée 'Revue de la littérature', offre un regard sur les travaux antérieurs qui ont exploré le sujet de notre étude. En évaluant un éventail de recherches académiques et institutionnelles, nous cherchons à saisir l'évolution de la pensée autour de notre sujet, à établir des liens entre diverses perspectives et à situer notre travail au sein de ce paysage. Cette revue nous aidera à comprendre les tendances, les défis et les lacunes existants dans la littérature actuelle.

2.1. Synthèse approfondie des études connexes : une exploration significative

L'impact du confinement sur l'environnement a intéressé un bon nombre de personnes et c'est pour cette raison que plusieurs auteurs ont rédigé autour de cette thématique. Il en ressort à la fois des aspects positifs mais également négatifs. Cheval et al. (2020) adoptent une position optimiste pour l'avenir. En effet, ils soulignent l'importance d'intégrer les enseignements que nous pouvons tirer de la pandémie en vue de favoriser la préservation de l'environnement. A titre d'exemple, nous pouvons prendre le déploiement du télétravail dans la sphère professionnelle, qui perdure malgré la fin du confinement. Par contre, Climate Wise (s.d.) met en avant les effets positifs du confinement sur l'environnement mais également les aspects négatifs de la pandémie sur l'environnement. En effet, il est vrai qu'il y a eu beaucoup de restrictions en termes de déplacement, permettant une diminution des émissions dans le monde entier. Cependant, il est important de prendre en considération l'augmentation des EPI (équipement de protection individuel), engendrant une grande quantité de déchets. A titre d'exemple, un masque chirurgical met jusqu'à 450 ans pour se dégrader. L'étude d'Aina Idowu et al. (2023) démontrent également les conséquences négatives à long terme de la pandémie sur l'environnement. Zambrano-Monserrate et al. (2020) (as cited in Asikha Aktar, Mahmudul Alamb, Abul Quasem Al-Amin (2021)) attirent l'attention sur le fait que les conséquences de la fin du confinement auront un effet plus grave au niveau environnemental que les bénéfices du confinement. Ils expliquent cela par le rebond des émissions de CO₂, l'érosion des sols, la déforestation, la contamination de l'eau et de l'air, la gestion des déchets d'activités médicales, etc.

Fredrik et al. (2013), mettent en avant qu'il existe une différence entre les déterminants à court terme et à long terme des émissions. Lors des récessions sévères, des réductions temporaires des émissions peuvent se produire à court terme mais n'en n'auront pas à long terme. Les réponses sur du long terme peuvent venir des politiques environnementales. Nous pouvons prendre comme exemple le prix réel du pétrole. Ce dernier affecte à la fois l'intensité énergétique ainsi que l'intensité en carbone, ce qui suggère qu'un prix mondial du carbone pourrait être utilisé pour réduire les émissions de CO₂. Friedl et Getzner (2003) démontrent que le choc pétrolier de 1975 à 1999 a entraîné une baisse significative des émissions. Cependant, les chocs pétroliers ont généralement un impact à court terme sur les émissions de CO₂, suite aux variations importantes du prix du pétrole. Les décisions des politiques environnementales, à l'inverse des chocs pétroliers, ne sont pas des événements imprévus dépendants du marché. Les politiques environnementales sont censées prendre des mesures pour promouvoir des pratiques et des technologies respectueuses de l'environnement. Elles visent à réduire les émissions de CO₂ et à atténuer les effets du changement climatique sur le long terme. Ces politiques comprennent souvent des incitations économiques, des réglementations, des investissements dans les énergies renouvelables, l'efficacité énergétique, ainsi que des mesures visant à promouvoir des comportements plus durables. Elles sont conçues pour agir de manière proactive plutôt que réactive par rapport aux événements imprévus comme les chocs pétroliers, en permettant une transition vers une économie moins dépendante des combustibles fossiles et plus respectueuse de l'environnement.

Plusieurs facteurs influencent la crise environnementale. Un premier est la consommation d'énergie, qui, comme le précisent Asikha Aktar et al. (2021), est un des principaux facteurs du réchauffement climatique. Ces derniers expliquent que l'énergie est l'un des principaux piliers pour les nations, afin

d'assurer un développement économique durable et inclusif. L'OCDE (2021) a constaté que les pressions sur l'environnement liées à la consommation d'énergie ont connu un recul en 2020 de 7 à 8% suite au confinement. Avec le déconfinement, les activités économiques ont repris, provoquant une augmentation des émissions, se rapprochant progressivement de niveaux de projection en période pré-covid. Cependant, l'OCDE a montré qu'un léger impact à long terme du confinement persistera. En effet, une baisse de 1 à 3% des niveaux de pression environnementale est attendue dans les années à venir. Pour McGrath (2020) (as cited in Asikha Aktar, Mahmudul Alamb, Abul Quasem Al-Amin (2021)), les énergies ayant connues une forte baisse durant le confinement sont le charbon, le pétrole et le gaz. Broom (2020) (as cited in Asikha Aktar, Mahmudul Alamb, Abul Quasem Al-Amin (2021)) précise que la demande en électricité a augmenté dans les foyers domestiques suite au confinement, mais que la baisse de cette énergie est tout de même notable suite à la réduction de la demande en électricité des secteurs commercial et industriel.

Un second élément est le PIB par habitant. Shafik et Bandyopadhyay (1992) et ensuite Shafik (1994) confirment l'existence d'une relation linéaire entre ces deux variables. Cependant, il est possible de dissocier la croissance des émissions de carbone de la croissance économique, si ces émissions diminuent en tant que sous-produit d'autres activités de réduction ou si les réglementations environnementales s'améliorent avec l'augmentation du revenu par habitant. Des recherches ont également identifié une forme quadratique, suivie par des spécifications en forme de N cubique pour l'Autriche, telle que celles proposées par Galeotti et Lanza (1999), De Bruyn et ses collègues (1998), Heil et Selden (2001) ou encore Holtz-Eakin et Selden (1995). Les résultats empiriques de Kangyin, Xiucheng et Dong (2019) montrent que la taille de la population, la croissance économique, l'intensité énergétique et l'énergie non renouvelable influencent positivement et significativement les niveaux d'émissions au niveau mondial et régional.

Asikha Akar et ses collègues (2021) proposent de tirer des conclusions de la pandémie afin de se réajuster dans la manière d'affronter la crise environnementale. Selon eux, mettre l'accent sur une reprise économique durable tout en permettant une relance plus écologique permettrait de renforcer la capacité de l'industrie à construire des technologies à faible émission de carbone, comme les technologies photovoltaïques et éoliennes, les voitures autonomes, les systèmes de chauffage, etc.

Récemment, une étude critique menée par Kumar et al. (2022) s'est penchée sur les conséquences de la Covid-19 sur les émissions de gaz à effet de serre. Les chercheurs mettent en évidence l'impact temporaire de la pandémie sur la réduction des émissions de CO₂, attribuable aux restrictions de déplacement et à la diminution des activités économiques. Toutefois, ils soulignent que cette baisse pourrait être de courte durée étant donné que la reprise économique post-pandémique risque d'entraîner une hausse rapide des émissions. Par conséquent, ils mettent en avant l'importance d'une reprise économique durable qui favorise la transition vers des technologies à faible empreinte carbone, telles que l'énergie solaire et éolienne, les véhicules autonomes et les systèmes de chauffage respectueux de l'environnement. Ainsi, ils soulignent la nécessité de prendre des mesures pour promouvoir ces solutions et atteindre des objectifs environnementaux à long terme.

2.2. Notre apport

En intégrant des variables liées à la catégorie covid, telles que la fermeture des écoles, le taux de télétravail et la fermeture des frontières, nous tentons de comprendre comment ces mesures ont influencé les niveaux de CO₂ pendant la période de confinement. De même, en incluant des variables de la catégorie économique, telles que le taux d'industrialisation, le PIB par habitant, la taille de la population avec son pourcentage en population urbaine et le taux d'énergie renouvelable, nous explorons comment les facteurs économiques peuvent avoir une incidence sur la qualité de l'air.

Une autre contribution significative de notre étude réside dans son échelle mondiale. En examinant les données de tous les pays du monde, nous élargissons la portée des recherches précédentes, qui étaient souvent centrées sur des pays spécifiques ou des régions restreintes. Cette approche globale permettra

de mieux comprendre les tendances générales et les différences régionales en termes d'impact du confinement sur la qualité de l'air.

Par la suite, en centralisant ces données sur la zone géographique du Benelux, nous proposons une étude plus spécifique sur ce groupe qui bénéficiera donc de ses propres analyses en plus d'une capacité de comparaison au reste du monde, permettant donc de mettre en relief les résultats obtenus.

En outre, notre travail prend en compte les enseignements tirés de la pandémie de la Covid-19 et cherche à les intégrer dans les efforts de préservation de l'environnement. En étudiant les effets à court et à long terme du confinement sur les émissions de CO₂, nous tentons de fournir des informations précieuses pour la prise de décisions politiques et la mise en œuvre de politiques environnementales plus efficaces.

En résumé, notre étude sur l'impact du confinement sur la qualité de l'air, en utilisant la variable CO₂ et en intégrant des variables des catégories covid et économique à l'échelle mondiale, apporte une contribution significative à la littérature existante. Notre approche globale, combinée à l'analyse des effets à court et à long terme du confinement, permettra de mieux comprendre les tendances et les différences régionales, ce qui pourrait être utile pour élaborer des politiques environnementales plus ciblées et durables.

3. Présentation des données

Notre recherche vise à comprendre l'impact des mesures de confinement liées à la Covid-19 sur la qualité de l'air dans le Benelux. Afin de pouvoir amener des éléments de réponses, nous avons réalisé nos analyses en deux temps.

3.1. Horizon international

Dans un premier temps, nous avons analysé un ensemble de données sur la qualité de l'air à l'échelle mondiale. En effet, cette approche nous permet d'établir un contexte global et dès lors, de mieux comprendre les tendances générales, avant de nous concentrer sur la situation au Benelux.

Afin de mener à bien cette étude à l'échelle mondiale, nous avons utilisé un ensemble de données de panel couvrant 140 pays sur une période allant de 2000 à 2021. Ces pays ont été retenus en raison de l'accessibilité des données recherchées y étant associées, les autres présentant trop peu ou pas d'informations en lien avec nos variables de recherche, nous avons décidé de les exclure de notre base de données. Les pays analysés sont répartis de la manière suivante : 15 pays en Amérique du Nord, 34 en Europe, 33 en Asie, 13 en Amérique du Sud, 3 en Océanie, et 40 en Afrique. Vous trouverez la liste complète des pays inclus dans notre étude dans l'annexe '**Tableau 1 : Liste des pays**'.

Nos variables principales d'étude se distinguent en deux catégories : les variables « économiques » et les variables « covid ». Les variables économiques comprennent les émissions de CO₂ (en tonnes par habitant), le PIB par habitant (en dollars), le taux d'urbanisation (% de la population totale), la part de l'industrie (% du PIB) et la taille de la population (en nombre). Les variables covid, elles, reprennent les différents niveaux de restrictions durant le confinement. Les données relatives à ces variables proviennent principalement de la Banque mondiale. Pour donner un aperçu des caractéristiques de ces variables, nous avons préparé le '**Tableau 2 : Description des variables économiques**', qui présente des éléments descriptifs de nos variables économiques explicatives, ainsi que leurs sources. Le '**Tableau 3 : Description des variables covid**' disponible en annexe fournit des informations similaires pour nos variables relatives à la Covid-19, qui incluent différents niveaux de restrictions durant le confinement.

3.2. Horizon Benelux

Une fois l'analyse globale réalisée, nous avons dans un second temps adapté notre focus sur la situation particulière du Benelux, en incorporant des données spécifiques sur la consommation et la production d'énergie dans cette région, plus précisément le taux d'énergie renouvelable (en pourcentage de l'approvisionnement en énergie primaire).

Dans cette analyse, nous avons pris la décision d'incorporer une nouvelle variable intitulée « énergie renouvelable ». L'ajout de cette variable dans notre analyse sur le Benelux découle de plusieurs facteurs, comme la disponibilité précises et récentes des données pour l'année 2021. L'énergie renouvelable est un domaine en évolution constante, avec des efforts déployés pour accroître sa part dans l'approvisionnement en énergie primaire. Cependant, en raison du caractère relativement récent de ces initiatives, il peut être difficile de trouver des données actualisées et fiables sur l'utilisation et la production d'énergie renouvelable. En outre, l'obtention de données précises sur l'énergie renouvelable peut être complexe en raison de diverses raisons rencontrées par les statisticiens et les chercheurs. Certaines de ces raisons peuvent inclure des défis méthodologiques dans la collecte et la standardisation des données, des variations dans les définitions et les classifications utilisées par les différents pays et organismes, ainsi que des délais dans la publication des statistiques officielles.

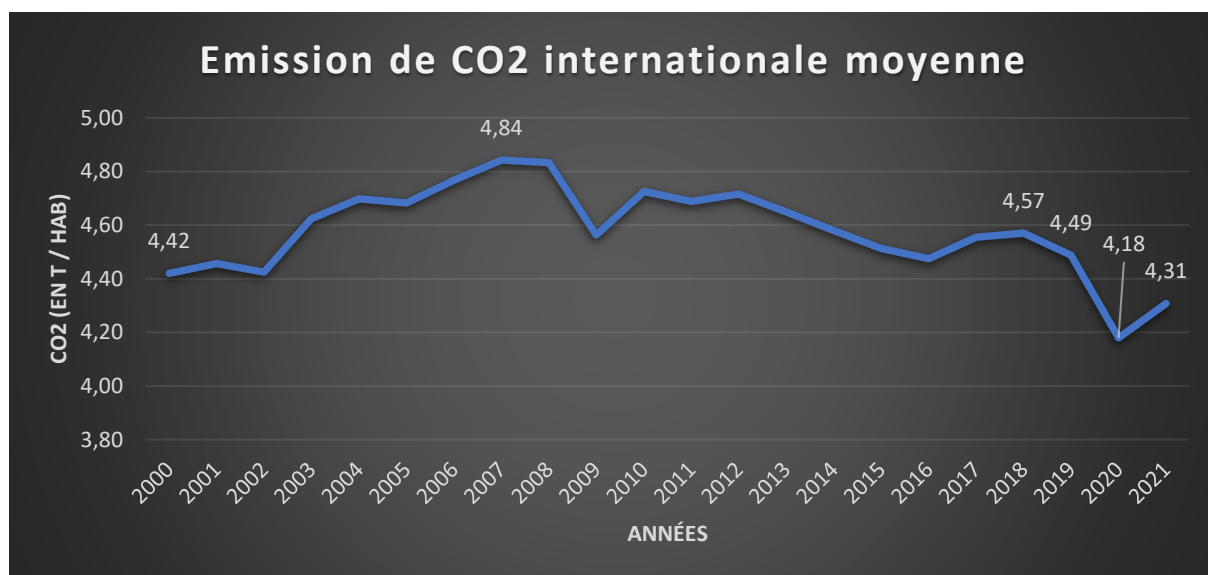
Dans notre étude, nous avons préféré nous concentrer sur des données disponibles et robustes pour les autres variables économiques et relatives à la Covid-19, afin de garantir la cohérence et la fiabilité de nos résultats. Cela nous permet de fournir une analyse solide et comparative de l'impact des mesures de confinement sur la qualité de l'air dans la zone du Benelux, en prenant en compte des facteurs économiques et des restrictions liées à la pandémie.

3.3. Premier constat

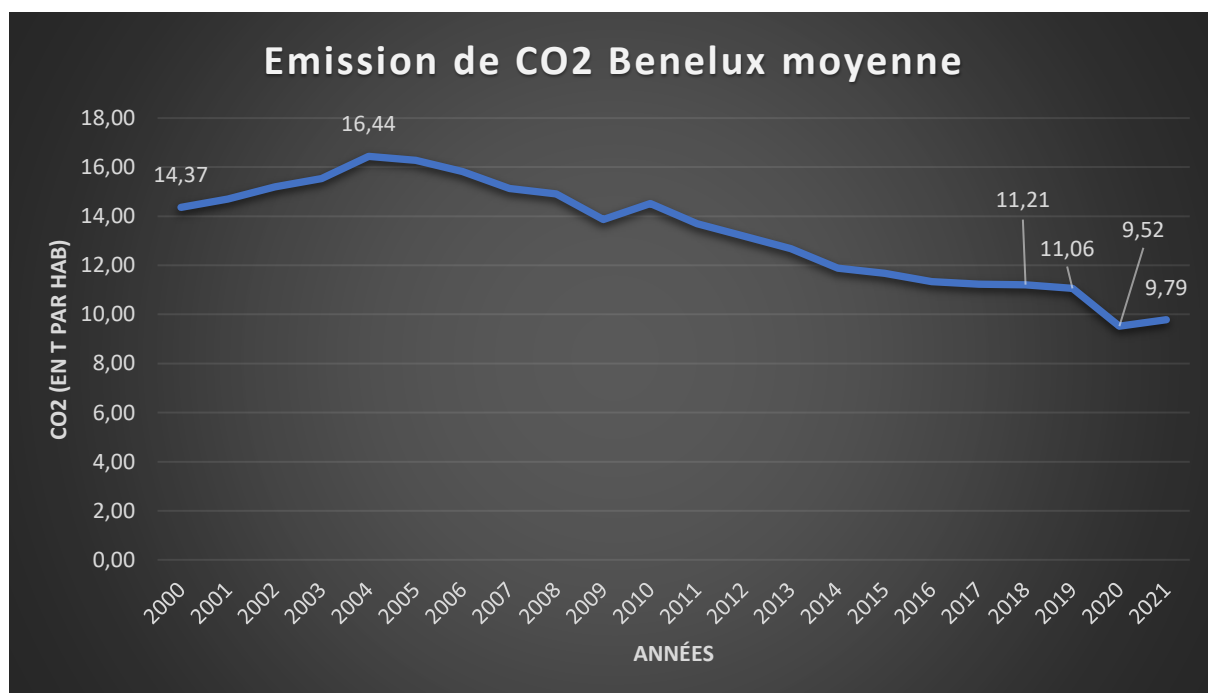
Pour mieux comprendre les premiers résultats, nous vous proposons de poser un premier regard sur l'évolution globale des émissions de CO2 au fil des années. Pour cela nous avons examiné les données de notre ensemble de données de panel international. Afin de visualiser cette évolution, nous avons représenté graphiquement les valeurs moyennes du taux de CO2 par habitant pour chaque année (Graphique 1 disponible en annexes).

Un second regard peut ensuite être porté sur l'évolution globale des émissions de CO2 au fil des années au sein du Benelux. Un deuxième graphique a été réalisé, reprenant également les valeurs moyennes du taux de CO2 par habitant pour chaque année (Graphique 2 disponible en annexes).

3.3.1. Graphique 1 : Emission de CO2 internationale moyenne



3.3.1. Graphique 2 : Emission de CO2 moyenne du Benelux



Après avoir examiné les graphiques de l'évolution des émissions de CO₂ à l'échelle internationale et dans la région du Benelux, plusieurs observations intéressantes se dégagent. Une tendance commune à ces deux graphiques est la diminution des émissions de CO₂ observée aux alentours de l'année 2019, suivie d'un rebond pour une augmentation significative marquée vers l'année 2020.

Ce motif de diminution suivie d'une augmentation rapide est souvent décrit par le terme de "rebond en forme de V". Il reflète une situation où les émissions de CO₂ diminuent brusquement puis remontent rapidement par la suite. Ce schéma est souvent associé à des événements économiques ou politiques, tels que les récessions économiques ou les perturbations dans les politiques environnementales.

Dans notre contexte, il est intéressant de noter que le rebond en forme de V observé dans les émissions de CO₂ coïncide avec la période de pandémie de la Covid-19 et les mesures de confinement mises en place dans de nombreux pays. Au cours de l'année 2020, les restrictions liées à la Covid-19 ont entraîné une baisse significative des activités économiques, ce qui a eu un impact direct sur les émissions de CO₂. Cependant, le rebond rapide des émissions de CO₂ observé après cette diminution suggère que les effets des mesures de confinement ont été temporaires et que d'autres facteurs ont pu influencer cette augmentation. Ces facteurs pourraient inclure la reprise économique après les périodes de confinement, les variations dans les politiques énergétiques et les habitudes de consommation, entre autres.

Ces deux graphiques, à horizon mondial et à horizon Benelux, nous offrent un aperçu préliminaire de la tendance générale de ces émissions au niveau mondial. En observant ces courbes, nous pouvons identifier des fluctuations et des tendances éventuelles au fil du temps, qui serviront de point de départ pour notre analyse plus approfondie.

Cependant, il est important de noter que ces graphiques initiaux ne tiennent pas compte des facteurs spécifiques tels que les mesures de confinement liées à la COVID-19 ou les caractéristiques économiques. Il s'agit simplement d'un premier indicateur visuel pour nous familiariser avec les variations globales du taux de CO₂ au cours de la période étudiée.

À partir de ces premières observations, nous poursuivrons notre analyse en explorant plus en détail les variables économiques, les mesures de confinement et d'autres facteurs spécifiques, afin de comprendre plus précisément les déterminants des émissions de CO₂.

4. Présentation du modèle

Avant de présenter le modèle économétrique que nous avons adopté pour notre étude, rappelons-nous la question de départ de notre recherche : "Quel est l'impact du confinement de la Covid-19 sur la qualité de l'air au Benelux ?". Cette question nous guide à travers notre recherche et sert de fondement pour l'analyse et la modélisation que nous allons entreprendre.

4.1. Cadre théorique existant : variables explicatives économiques

En se basant sur la littérature empirique mentionnée précédemment, six hypothèses vont être testées.

4.1.1. Hypothèse 1 : Le CO₂ augmente de plus en plus dans l'air.

Selon le service public fédéral belge, la concentration en CO₂ a augmenté de plus de 45%¹ depuis 1750. Le CO₂ est le principal gaz responsable de l'effet de serre, représentant plus de 50% de l'ensemble des gaz à effet de serre.

4.1.2. Hypothèse 2 : Plus la croissance du revenu d'un pays est élevée, plus la croissance de la pollution environnementale est élevée.

Il est nécessaire d'utiliser une relation quadratique entre le PIB réel par habitant et les émissions de CO₂ par habitant pour comprendre leur relation, comme l'a indiqué Ang (2007). La croissance des revenus est mesurée par la croissance du PIB, tandis que la pollution de l'environnement est mesurée par les émissions de CO₂ par habitant en kilotonnes. Les données ont été recueillies à partir de la base de données des Indicateurs du développement mondial de la Banque mondiale, et une corrélation positive est attendue. Compte tenu de la forme en U de la courbe EKC (Kuznets), le terme au carré du PIB devrait être négatif.

La courbe de Kuznets environnementale est connue pour mesurer la relation en forme de U inversé entre les émissions et le PIB par habitant.

4.1.3. Hypothèse 3 : Les pays industrialisés produisent plus de CO₂.

Depuis la révolution industrielle, l'activité humaine a considérablement contribué au changement climatique en libérant dans l'atmosphère du CO₂ et d'autres gaz. Cette augmentation des gaz à effet de serre a entraîné une hausse de la température à la surface de la Terre, dégradant l'environnement écologique et aggravant le réchauffement climatique, comme le souligne une étude d'Adom et al. (2012) et l'Agence de protection de l'environnement américain en 2017. Les émissions de dioxyde de carbone ont augmenté de près de 40 % par rapport à l'époque précédant la révolution industrielle (Máté Balogh & Jámbor, 2017).

4.1.4. Hypothèse 4 : L'augmentation de la population urbaine accroît également l'intensité énergétique

Afin de répondre aux besoins d'une population urbaine, des méthodes de production nécessitant une plus grande quantité d'énergie sont requises. En outre, une population urbaine croissante est liée à une augmentation de la demande énergétique, notamment pour le transport, comme le souligne Jones (1991). Ces deux facteurs sont ainsi étroitement liés à une intensité énergétique accrue.

De plus, selon l'étude de Andersson et Karpestam (2013), chaque augmentation d'un point de pourcentage de la population urbaine entraîne une augmentation de 1,142 % des émissions. Bien que la plupart des économies développées aient déjà une population urbaine comprise entre 70 % et 90 %,

¹ <https://climat.be/changements-climatiques/causes/gaz-a-effet-de-serre>

certaines pays tels que la Chine et l'Inde ont des taux d'urbanisation respectifs de 44 % et 30 %. Cela suggère que leurs émissions sont susceptibles d'augmenter à mesure qu'ils continuent de se développer. Si les taux d'urbanisation de la Chine et de l'Inde atteignent les niveaux observés dans les pays développés, leurs émissions augmenteront de 40 % à 50 % en raison de ce seul facteur.

4.1.5. Hypothèse 5 : Taille de la population

Selon l'étude empirique de Kangyin Dong et al. (2019), pour réduire efficacement les émissions de CO₂ au niveau mondial et régional, il est crucial pour chaque région de promouvoir la transition économique et de maîtriser la croissance de la population, car ce sont les principaux facteurs de l'augmentation des émissions de CO₂. En d'autres termes, la croissance économique et la croissance démographique sont les principaux moteurs de l'augmentation des émissions de CO₂. Il est donc important de les gérer pour atteindre des objectifs de réduction des émissions de CO₂.

4.1.6. Hypothèse 6 : Impact des énergies renouvelables

L'utilisation d'énergies renouvelables a un impact direct sur la réduction des émissions de CO₂. Selon l'Agence Internationale de l'Énergie, le passage aux énergies renouvelables pourrait réduire les émissions de CO₂ de près de la moitié d'ici 2050. Cette variable sera également prise en compte dans notre analyse.

4.2. Nouvelle perspective : influence du confinement sur la variable CO₂ à explorer

4.2.1. Hypothèse 7 : Le confinement de la Covid-19

Des événements passés de court terme, comme le choc pétrolier dans les années 70, ont considérablement diminué les émissions de CO₂ (Andersson & Karpestam 2013). Malheureusement, cela n'a pas eu d'impact sur le long terme et le niveau des émissions est revenu à la normale. Concernant le confinement, l'OCDE a pu constater une baisse des émissions durant ce phénomène exceptionnel. Le niveau est également bien remonté mais il espère une légère amélioration pour les années à venir.

4.3. Extraits de littérature : les réactions attendues

Pour compléter notre analyse et mieux comprendre les effets attendus de chaque variable sur les émissions de CO₂, nous avons réalisé un tableau reprenant, pour chacune de nos variables économiques et pour notre variable expliquée, le signe attendu (positif ou négatif) ainsi que la source littéraire nous permettant d'affirmer ce signe.

4.3.1. Tableau 4 : Signes attendus

Ces signes attendus sont basés sur la littérature existante, mais notre étude a pour objectif de les vérifier à travers notre modèle et nos données spécifiques. Ils constituent une base solide pour notre analyse et pour le développement de notre modèle économétrique.

Variabiles	Signes attendu	Sources
CO ₂	?	?
PIB	+	Ang (2007)
Industrie	+	Adom et al. (2012), Agence de protection de l'environnement américain (2017)
Urbanisation	+	Jones (1991), Andersson & Karpestam
Population	+	Kangyin Dong et al. (2019)
Le confinement	-	OCDE
Energie renouvelable	-	Kumar et al. (2022)

4.4. Développement du modèle

La construction d'un modèle pour notre étude a nécessité une attention particulière aux détails techniques et méthodologiques. Nous avons développé un modèle de régression robuste qui tient compte de plusieurs facteurs clés affectant les émissions de CO₂ par habitant. Ces facteurs comprennent le PIB, la population urbaine, le niveau d'industrialisation, la taille de la population et le niveau de confinement dû à la COVID-19.

Dans cette démarche, nous avons dû nous confronter à l'hétéroscédasticité, un problème courant dans les modèles de régression. Pour atténuer ce problème, nous avons adopté une transformation logarithmique des variables PIB, Population et CO₂. Cette transformation, couramment utilisée dans les analyses économiques et environnementales, permet de réduire les écarts de variance entre les observations. Elle stabilise la dispersion des données et améliore la conformité aux hypothèses de l'analyse statistique.

Puisant dans les travaux de plusieurs chercheurs tels que Balogh et Jámbor (2017), Andersson et Karpestam (2013), nous avons choisi d'appliquer un modèle à effets fixes. Parallèlement, pour assurer la robustesse de notre modèle principal, nous prévoyons de le comparer à un modèle basé sur la méthode des moindres carrés ordinaires. Ces comparaisons supplémentaires seront présentées dans la section des résultats et seront détaillées en annexes.

Le choix d'un modèle de données de panel à effets fixes nous permet de contrôler les variables inobservables spécifiques à chaque pays, susceptibles de rester constantes dans le temps tout en variant entre les pays. En contrôlant ces effets inobservables, nous réduisons les biais et les problèmes d'omission de variables, augmentant ainsi la précision et la validité de nos estimations.

Malgré l'ajout d'une nouvelle variable (énergie renouvelable) dans notre modèle pour le Benelux, la structure fondamentale de notre modèle de régression reste la même, ce qui permet une comparaison générale avec d'autres études internationales. Cependant, cet ajout ne nous permet plus de tirer des conclusions de cette comparaison à l'horizon mondial. L'objectif est donc d'avoir une vue globale grâce à l'horizon mondial afin de pouvoir se plonger dans l'horizon Benelux avec une première appréhension du sujet.

La version logarithmique de notre modèle d'estimation est la suivante :

Equation modèle des Moindres Carrés Ordinaire :

$$\ln\text{CO2}_{it} = \alpha + \beta_1 \ln(\text{PIB}_{it}) + \beta_2 (\ln\text{PIB}_{it})^2 + \beta_3 \text{URBAN}_{it} + \beta_4 \text{INDUSTRIE}_{it} + \beta_5 \ln\text{POP}_{it} + \beta_6 \text{EN_RENOUV}_{it} + \beta_7 \text{COVID}_{it} + \varepsilon_{it}$$

Equation modèle à Effets fixes :

$$\ln\text{CO2}_{it} = \alpha + \beta_1 \ln(\text{PIB}_{it}) + \beta_2 (\ln\text{PIB}_{it})^2 + \beta_3 \text{URBAN}_{it} + \beta_4 \text{INDUSTRIE}_{it} + \beta_5 \ln\text{POP}_{it} + \beta_6 \text{EN_RENOUV}_{it} + \beta_7 \text{COVID}_{it} + u_i + \varepsilon_{it}$$

Les détails des significations de ces divers éléments constituant nos deux équations peuvent être retrouvés en annexes au Tableau 5.

5. Présentation de la méthode

Dans cette partie, nous allons présenter la méthode que nous avons utilisé pour mesurer l'impact de nos variables explicatives sur la qualité de l'air au Benelux.

5.1. Mode opératoire général

Notre étude analyse l'impact de la Covid-19 sur la qualité de l'air, en se basant sur des variables économiques et des variables liées à la pandémie. Nous avons utilisé une analyse de régression pour examiner l'influence de chaque variable explicative sur le taux de CO₂.

Pour chaque modèle de régression, nous avons utilisé le taux de CO₂ comme variable dépendante et avons inclus une variable de la Covid-19 ainsi que des variables économiques comme variables explicatives. Nous avons utilisé deux approches différentes pour estimer nos modèles. Ces dernières sont la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO) et le modèle à effets fixes.

En général, le modèle à effets fixes est considéré comme plus robuste lorsque les différences individuelles sont importantes dans les données, car il permet de contrôler les effets non observables constants pour chaque individu. Cependant, il peut être moins efficace en termes de précision si les différences individuelles sont faibles.

Le mode opératoire a été majoritairement le même pour l'horizon international et l'horizon Benelux. Pour chacune de ces sections, la méthode des MCO et le modèle à effets fixes étaient utilisés de la manière suivante :

Pour chacune de ces sections, les tests effectués consistaient d'abord à croiser chacune de nos variables Covid avec notre variable CO₂ et nos variables économiques. Le but était de capturer l'impact individuel de chacune de nos variables Covid. Chacun de ces tests était à la fois exécutés grâce à la méthode des MCO puis grâce au modèle à effets fixes.

Ensuite, nous avons tenté de capturer l'impact global de nos variables Covid. Pour ce faire, nous les avons simplement croisées ensemble avec la variable CO₂ et nos variables économiques (tes 1, test 2, test 4 et test 6 disponibles en annexes).

Nous avons également effectué des matrices de corrélation (test 7 et test 8 disponibles en annexes) afin de nous aider à capturer les relations entre ces différentes variables.

Ce fonctionnement a donc été appliqué aux deux horizons étudiés.

En raison du nombre élevés de ces tests, ceux-ci ne seront pas tous disponible en annexes. Afin d'alléger la lecture de cette étude, certains de ces tests vous seront mis en évidence de manière synthétisée à titre d'exemples, et seront retrouvables de manière complète en annexes.

L'objectif de notre analyse était d'identifier les variables ayant un impact significatif sur le taux de CO₂. Pour cela, nous avons interprété les coefficients de régression pour déterminer si une variable avait un impact significatif.

5.2. Un regard croisé : une perspective comparative pour une analyse exhaustive

Nous nous basons principalement sur les résultats obtenus via le modèle à effets fixes, l'inclusion de la méthode des MCO est à titre de comparaison. Il nous semblait intéressant d'avoir ce point d'observation supplémentaire lors de nos analyses pour trois raisons.

La première raison est le contrôle des effets non observables. Le modèle à effets fixes est considéré comme plus robuste lorsque les différences individuelles sont importantes dans les données. Il permet de contrôler les effets non observables constants pour chaque individu. En incluant ce modèle, nous pouvons prendre en compte des facteurs spécifiques à chaque pays qui pourraient influencer la qualité

de l'air, mais qui ne sont pas directement mesurables ou inclus dans nos variables explicatives. Cela permet d'améliorer la qualité de notre analyse en réduisant les biais potentiels.

La seconde est la précision des estimations. Bien que le modèle à effets fixes soit considéré comme plus robuste, il peut être moins efficace en termes de précision si les différences individuelles sont faibles. En incluant également la méthode des MCO, qui ne contrôle pas les effets non observables, nous pouvons obtenir des estimations alternatives et comparer les résultats. Cela permet de vérifier si les conclusions tirées à partir du modèle à effets fixes sont robustes et suggère des relations significatives, même lorsque les effets non observables sont moins importants.

La dernière est la validation croisée des résultats. En comparant les résultats obtenus à partir des deux modèles, nous pouvons évaluer la robustesse de nos conclusions et confirmer la validité des résultats obtenus avec le modèle à effets fixes. Si les deux modèles convergent vers des conclusions similaires, cela renforce la crédibilité de nos résultats et augmente la confiance dans les variables qui ont été identifiées comme ayant un impact significatif sur la qualité de l'air.

En résumé, l'inclusion de la méthode des MCO en tant que point d'observation supplémentaire dans notre analyse nous permet de prendre en compte des facteurs non observables et de comparer les résultats avec ceux du modèle à effets fixes. Cela renforce la robustesse de notre étude, offre des estimations alternatives et valide nos conclusions, renforçant ainsi la crédibilité de notre étude.

5.3. Variables Dummies : impact temporel sur les émissions de CO2

Dans notre étude, nous avons pris soin d'inclure des variables binaires (dummies) pour chaque période temporelle dans notre modèle. Ces variables, également connues sous le nom de variables indicatrices, jouent un rôle crucial dans notre analyse. Elles nous permettent de saisir les variations temporelles et saisonnières des émissions de CO2 et d'examiner l'impact des facteurs spécifiques à chaque période sur ces émissions.

En incorporant ces variables dummies, nous sommes en mesure de capturer les effets liés aux différentes périodes et de contrôler les facteurs saisonniers qui pourraient influencer les émissions de CO2. Cela nous donne une vision plus complète des tendances et des déterminants de ces émissions, en prenant en compte les événements spécifiques et les changements structurels survenus au fil du temps.

Ainsi, l'utilisation de ces variables dummies nous permet d'obtenir des résultats plus précis et d'identifier les relations subtiles entre les variables explicatives et les émissions de CO2. En explorant ces variations temporelles et saisonnières, nous pouvons mieux comprendre les tendances et les influences qui façonnent les niveaux de CO2 dans notre échantillon.

6. Résultats

Dans cette section, nous allons pouvoir nous intéresser à l'analyse des différents tests réalisés sur notre base de données. Pour un suivi optimal, l'ensemble de ces tests statistiques sont repris en annexes dans la section « Tests ».

6.1. Impact CO2 à l'horizon international

6.1.1. Introduction et Matrices de corrélation

Cette partie présente une analyse approfondie des résultats obtenus à partir des tests effectués sur notre modèle économétrique. Avant d'entrer dans les détails des analyses MCO et des modèles à effets fixes, nous avons jugé important de fournir une visualisation claire des relations entre les variables en utilisant des matrices de corrélation.

Pour faciliter la lisibilité et l'interprétation, nous avons divisé les variables en deux groupes distincts. La première matrice de corrélation (Test 7 disponible en annexes) concerne les variables explicatives liées à la situation de la pandémie de la Covid-19, tandis que la seconde matrice de corrélation (Test 8 disponible ci-dessous et en annexes) se concentre sur les variables économiques.

Nous avons choisi de ne présenter que la matrice de corrélation avec les variables économiques dans ce texte afin de ne pas surcharger la lecture avec une quantité excessive de données (l'autre matrice étant plus conséquente).

Dans la matrice de corrélation avec les variables explicatives liées à la pandémie de la Covid-19, nous observons des corrélations faibles entre la variable dépendante CO2 et certaines variables explicatives telles que « Fermeture des écoles », « Fermeture lieux publics », et « Annulation événements ». Ces corrélations suggèrent une certaine association entre ces mesures de restriction et les niveaux de CO2. Cependant, d'autres variables explicatives présentent des corrélations faibles avec CO2, soulignant l'importance de considérer d'autres facteurs dans notre modèle.

La matrice de corrélation avec les variables économiques révèle des corrélations fortes entre CO2 et des variables telles que PIB et Population urbaine. Ces corrélations indiquent une association positive modérée entre ces variables, suggérant que des niveaux plus élevés de PIB et de population urbaine peuvent être associés à des niveaux plus élevés de CO2. Toutefois, nous observons également une corrélation légèrement négative entre le CO2 et la variable « Population », ce qui signifie que lorsque la population augmente, le niveau de CO2 tend à diminuer (ou vice versa), mais la corrélation est faible.

Test 8 : Matrice de Corrélation CO2 >> Variables économiques

Coefficients de corrélation, utilisant les observations 1:01 - 140:22

valeur critique à 5% (bilatérale) = 0,0353 pour n = 3080

	CO2	PIB	Population	Population urbaine	Industrialisation
CO2	1.0000	0.8530	-0.1384	0.7296	0.2975
PIB	-	1.0000	-0.2244	0.7633	0.0664
Population	-	-	1.0000	-0.0706	0.1707
Population urbaine	-	-	-	1.0000	0.0991
Industrialisation	-	-	-	-	1.0000

Il est important de souligner que ces observations initiales sont préliminaires et servent de base pour nos analyses ultérieures. Les matrices de corrélation nous aident à visualiser les relations entre les variables, mais elles ne fournissent pas une analyse complète de la nature causale des associations observées. Ainsi, nous poursuivrons nos analyses avec les tests MCO et les modèles à effets fixes pour examiner plus en détail l'impact des variables explicatives sur les niveaux de CO₂.

Les matrices de corrélation complètes peuvent être consultées en annexe pour une compréhension plus approfondie des relations entre les variables. Ces résultats préliminaires nous donnent une base solide pour poursuivre nos analyses et tirer des conclusions plus robustes sur l'influence des variables explicatives sur les niveaux de CO₂.

6.1.2. Moindres Carrés Ordinaires

Dans nos analyses en utilisant la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO), nous avons examiné l'effet des différentes variables covid et variables économiques sur les émissions de CO₂. Comme expliqué dans les points précédents, nous avons d'abord effectué une batterie de tests en croisant le CO₂ avec nos variables économiques et une variable covid afin d'étudier l'effet individuel de chaque variable liée aux mesures de restriction liées à la Covid-19 sur les émissions de CO₂. Nous avons observé que la majorité des variables indépendantes présentaient des coefficients statistiquement significatifs ($p < 0,05$), à l'exception de la variable de campagne d'informations du public. Cela suggère que toutes les variables covid à l'exception de cette dernière ont un impact statistiquement significatif sur les émissions de CO₂.

En regroupant toutes les variables dans une méthode des MCO global (Test 1 disponible ci-dessous en version simplifiée et au format complet en annexes), nous avons constaté que la majorité des variables covid n'étaient pas significatives ($p > 0,05$). Une des explications pourrait-être la multicolinéarité.

Test 1 : Méthode MCO global sur horizon international

	coefficient	éc. type	t de Student	p. critique	
const	-6,82092	0,154815	-44,06	0	***
PIB	0,385552	0,00646063	59,68	0	***
Populations	0,00850506	0,0068775	1,237	0,2163	
Population urbaine	0,00820074	0,00084263	9,732	4,59E-22	***
Industrie	0,0305688	0,00108975	28,05	3,32E-154	***
Fermeture des écoles	0,228623	0,0988381	2,313	0,0208	**
Fermeture lieux de travail	-0,111633	0,117586	-0,9494	0,3425	
Annulation événements publics	0,0932716	0,168142	0,5547	0,5791	
Restrictions rassemblements	0,00824633	0,0714091	0,1155	0,9081	
Obligation de rester au domicile	-0,0160388	0,0884134	-0,1814	0,8561	
Fermeture transports publics	0,0908355	0,12157	0,7472	0,455	
Restrictions mouvements internes	0,115721	0,0982932	1,177	0,2392	
Restrictions voyages internationaux	0,0896526	0,0691767	1,296	0,1951	
Campagnes infos du public	-0,403909	0,222809	-1,813	0,07	*

Pour explorer cette piste, nous pouvons nous référer à la matrice de corrélation covid (Test 7 disponible en annexes) exposée précédemment. Celle-ci confirme ce que nous soupçonnions : les variables Covid sont fortement corrélées entre elles. Par exemple, "Fermeture des écoles" et "Fermeture des lieux de travail" ont une corrélation de 0,9403, ce qui est extrêmement élevé. Cela indique qu'elles ont tendance à se déplacer ensemble. C'est-à-dire que lorsque l'une augmente, l'autre a également tendance à augmenter.

Cela peut entraîner un problème de multicollinéarité dans notre modèle de régression, ce qui pourrait expliquer pourquoi aucune des variables Covid n'était statistiquement significative lorsque nous les avons toutes incluses en même temps.

En revanche, la corrélation entre les variables Covid et le CO2 est très faible. Par exemple, la corrélation entre "Fermeture des écoles" et le CO2 est de 0,0361, ce qui est proche de zéro. Cela indique qu'il n'y a pas de relation linéaire forte entre ces variables. Cependant, cela ne signifie pas nécessairement qu'il n'y a aucun effet. Il se peut que l'effet soit non-linéaire, ou qu'il soit modéré par d'autres variables.

Il est important de noter qu'un p-valeur élevée ne signifie pas nécessairement que la variable n'a aucun effet. Cela signifie simplement que, dans ce modèle particulier, et avec ces données particulières, nous n'avons pas assez de preuves pour conclure qu'il y a un effet.

En conclusion, nos analyses en MCO mettent en évidence l'importance de certaines variables. Les tests à une seule variable Covid ont révélé des effets significatifs de la quasi-totalité des mesures de restriction sur les émissions de CO2, la mesure de campagne d'information du public n'ayant pas d'effet significatif. Cependant, il est important de noter que l'autocorrélation positive dans les résidus (indice de Durbin-Watson inférieur à 2) peut affecter les résultats et nécessite une prise en compte lors de l'interprétation des résultats.

6.1.3. Effets fixes

Dans nos analyses avec l'utilisation du modèle à effets fixes, nous avons examiné l'effet des variables sur les émissions de CO2 en tenant compte des effets spécifiques à chaque processus individuel inclus dans notre échantillon. Nous avons utilisé la méthode des effets fixes pour contrôler les différences individuelles et nous concentrer sur les variations intra-individuelles au fil du temps.

Suite aux différents tests en modèle à Effets fixes réalisés reprenant une observation individuelle de chacune des variables covid, nous avons constaté que certaines des variables indépendantes présentaient des coefficients statistiquement significatifs ($p < 0,05$). Cela suggère que ces facteurs ont un impact statistiquement significatif sur les émissions de CO2, même après avoir tenu compte des effets spécifiques à chaque processus individuel. Certains d'entre eux ne présentaient cependant pas d'impact significatif, comme la fermeture des lieux de travail ($p = 0,7224$) ou encore l'annulation des événements publics ($p = 0,8650$) pour n'en citer que deux.

L'un des avantages de la méthode des effets fixes est qu'elle permet de contrôler les différences individuelles et d'isoler les variations intra-individuelles. En comparant les résultats du modèle avec effets fixes (Test 2 disponible ci-dessous en version simplifiée et au format complet en annexes) avec ceux de la méthode des MCO empilé (test 1), nous pouvons observer des similitudes et des différences. Les variables telles que le PIB, la population, la population urbaine et l'industrie du PIB continuent de présenter des coefficients statistiquement significatifs dans les deux modèles, renforçant ainsi l'idée de leur impact sur les émissions de CO2.

Test 2 : Modèle à effets fixes global sur horizon international

	coefficient	éc. type	t de Student	p. critique	
const	-12,1855	0,726706	-16,77	2,61E-60	***
PIB	0,193335	0,00783563	24,67	3,35E-122	***
Population	0,525566	0,045607	11,52	4,46E-30	***
Population urbaine	0,0211611	0,00177778	11,9	6,22E-32	***
Industrie	0,00946171	0,00104746	9,033	2,97E-19	***
Fermeture des écoles	0,0398773	0,0289811	1,376	0,1689	
Fermeture lieux de travail	-0,0376508	0,0346117	-1,088	0,2768	
Annulation événements publics	0,0240751	0,0490968	0,4904	0,6239	
Restrictions rassemblements	-0,0618295	0,0209487	-2,951	0,0032	***
Obligation de rester au domicile	0,0475297	0,0262646	1,81	0,0705	*
Fermeture transports publics	0,125677	0,0357563	3,515	0,0004	***
Restrictions mouvements internes	-0,0180415	0,028948	-0,6232	0,5332	
Restrictions voyages internationaux	0,0286741	0,0203819	1,407	0,1596	
Campagnes infos du public	-0,132849	0,0651963	-2,038	0,0417	**

Cependant, il est intéressant de noter que le modèle avec effets fixes présente certains avantages par rapport à la méthode des MCO empilé. En effet, la méthode des effets fixes permet de contrôler les effets spécifiques à chaque processus individuel, ce qui réduit le biais potentiel dû à des variables non observées et à l'hétérogénéité individuelle. De plus, la méthode des effets fixes tient compte de la variation temporelle au sein de chaque processus individuel, ce qui permet une analyse plus fine des variations des émissions de CO₂.

Par exemple, en utilisant la méthode des MCO complet, nous constatons que la variable « Restriction rassemblement » présente un coefficient non significatif ($p = 0,9081$). Cependant, en utilisant le modèle à effets fixes, cette variable avait un coefficient significatif ($p = 0,0032$ ***). Ces résultats mettent en évidence l'importance de prendre en compte les effets spécifiques à chaque processus individuel lors de l'analyse des émissions de CO₂. De plus, nous pouvons observer une évolution du R² de 0,817634 pour la méthode des MCO à 0,985846 pour le modèle à effets fixes, ce qui représente une augmentation de 0,168212. Cela implique que le 98,5846% de la variabilité des émissions annuelles de CO₂ par habitant peut être expliquée par les variables indépendantes présentes dans le modèle, ce qui est donc plus optimal que 81,7634%.

En conclusion, nos analyses avec le modèle à effets fixes mettent en évidence l'importance des variables telles que les restrictions de rassemblements, les obligations de rester à la maison et les fermetures des transports publics qui n'étaient pas statistiquement significatifs en test MCO mais qui le deviennent avec le modèle à effets fixes. Respectivement $p = 0,9081$ devient $p = 0,0032$ ***, $p = 0,8561$ devient $p = 0,0705$ * et $p = 0,4550$ devient $p = 0,0004$ ***. La méthode des effets fixes permet de mieux contrôler l'hétérogénéité entre les processus individuels et de mieux isoler l'effet des variables. Elle offre ainsi une approche plus robuste pour l'analyse des émissions de CO₂ au niveau agrégé.

6.2. Impact CO₂ à l'horizon Benelux

Nous allons ici nous concentrer sur le Benelux en utilisant la même logique de tests que pour l'horizon international

6.2.1. Moindres Carrés Ordinaires

Dans nos analyses utilisant la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO) pour étudier les émissions de CO₂ dans la zone du Benelux, nous avons examiné l'impact des différentes variables liées aux mesures de restriction liées à la pandémie de la Covid-19. Nous avons effectué des tests individuels pour évaluer l'effet spécifique de chaque variable et un test global pour étudier l'impact conjoint de toutes les variables sur les émissions de CO₂ par habitant.

En analysant chaque mesure de restriction liée à la Covid-19 individuellement, nous avons observé des résultats intéressants quant à leur impact sur les émissions de CO₂ par habitant. Par exemple, la fermeture des transports publics (test 3 disponible en annexes) a montré une corrélation négative (-0,356076) significative (p 0,0262**) avec les émissions de CO₂, avec une réduction estimée de 3,78239 tonnes par habitant. Nous observons que cette variable covid avec la restriction des rassemblements (p = 0,0133**) sont les seules à être significatives.

En poursuivant nos analyses, nous avons également effectué un test global (Test 4 disponible ci-dessous en version simplifiée et au format complet en annexes) en regroupant toutes les variables dans une méthode des MCO pour évaluer leur impact conjoint sur les émissions de CO₂ par habitant au sein du Benelux. Ce test global a fourni des résultats significatifs, mettant en évidence l'importance conjointe des variables sur les émissions de CO₂. Le coefficient de détermination (R²) du modèle global était de 0,983, ce qui indique que les variables incluses dans le modèle expliquent environ 98,3% de la variation des émissions de CO₂. Cette forte valeur de R² suggère une bonne adéquation du modèle aux données observées.

Test 4 : Méthode MCO global sur horizon Benelux

	coefficient	éc. type	t de Student	p. critique	
const	-4,72977	3,85199	-1,228	0,2277	
PIB	0,337486	0,133753	2,523	0,0163	**
Population	-0,0195865	0,0483438	-0,4052	0,6878	
Population urbaine	0,0173011	0,0054439	3,178	0,0031	***
Industrie	-0,0406024	0,0143302	-2,833	0,0076	***
Energies renouvelables	6,99E-09	2,32E-09	3,016	0,0047	***
Fermeture des écoles	-0,697116	1,43892	-0,4845	0,6311	
Fermeture lieux de travail	-0,442072	0,901869	-0,4902	0,6271	
Annulation événements publics	1,09727	0,61548	1,783	0,0833	*
Restrictions rassemblements	-0,357722	0,902461	-0,3964	0,6942	
Obligation de rester au domicile	-0,237204	2,6888	-0,08822	0,9302	
Fermeture transports publics	-0,584242	0,339926	-1,719	0,0945	*
Moyenne var. dép.	2,526625	Éc. type var. dép.	0,353053		
Somme carrés résidus	0,132455	Éc. type régression	0,061518		
R ²	0,983652	R ² ajusté	0,969639		
F(30, 35)	70,1961	P. critique (F)	1,55E-23		
Log de vraisemblance	111,3186	Critère d'Akaike	-160,6372		
Critère de Schwarz	-92,75792	Hannan-Quinn	-133,8149		
rho	0,734887	Durbin-Watson	0,434599		

En plus du R^2 , nous avons examiné d'autres données clés pour évaluer la validité et la robustesse de notre modèle. L'écart-type de la régression était de 0,061, ce qui indique la dispersion des valeurs prédites par rapport à la ligne de régression. L'indice de Durbin-Watson, qui mesure l'autocorrélation positive dans les résidus, était de 0,435, suggérant la présence d'une autocorrélation positive dans les résidus du modèle, ce qui pourrait être problématique car les hypothèses standard de régression linéaire supposent l'indépendance des erreurs. Cela signifie que les erreurs à un moment donné ne devraient pas être corrélées avec les erreurs à un autre moment. L'autocorrélation peut entraîner des estimations inefficaces des coefficients de régression et des erreurs standard sous-estimées.

Certaines variables ont été omises en raison de la multicolinéarité parfaite. Cela signifie qu'elles étaient parfaitement corrélées avec une ou plusieurs autres variables indépendantes dans le modèle. Cela pourrait être un problème car la multicolinéarité peut rendre difficile l'estimation précise des coefficients de régression individuels.

En résumé, nos tests individuels ont révélé des effets significatifs de certaines mesures spécifiques de restriction liées à la Covid-19 sur la réduction des émissions de CO₂ par habitant au sein du Benelux. De plus, notre test global a démontré l'importance conjointe des variables telles que le PIB, la population, la population urbaine, l'industrie du PIB et l'énergie renouvelable sur les émissions de CO₂. Cependant, malgré la bonne capacité explicative du modèle, il y a des signes d'autocorrélation et de multicolinéarité.

6.2.2. Effets fixes

Dans notre analyse des effets fixes, nous avons examiné en détail l'impact des différentes mesures de restriction liées à la pandémie de Covid-19 au sein du Benelux. Pour cela, nous avons réalisé des tests individuels pour évaluer spécifiquement l'effet de chaque variable sur les émissions de CO₂ par habitant, ainsi qu'un test global intégrant l'ensemble des variables.

En analysant de manière distincte chaque mesure de restriction liée à la Covid-19, nous avons constaté des résultats significatifs révélant leur impact sur les émissions de CO₂ par habitant grâce au modèle à effets fixes. Par exemple, l'obligation de rester à la maison (test 5 disponible en annexe) a montré une corrélation négative (-1,44626) significative ($p = 0,0118^{**}$) avec les émissions de CO₂, entraînant une augmentation estimée à 29,8483 tonnes par habitant des émissions de CO₂.

Par la suite, nous avons réalisé un test global (Test 6 disponible ci-dessous en version simplifiée et au format complet en annexes) en regroupant toutes les variables dans un modèle à effets fixes, afin d'évaluer leur impact conjoint sur les émissions de CO₂ par habitant au sein du Benelux.

Test 6 : Modèle à effets fixes global sur horizon Benelux

	coefficient	éc. type	t de Student	p. critique	
const	27,7775	7,50646	3,7	0,0008	***
PIB	0,292539	0,1504	1,945	0,0603	*
Population	-2,07509	0,545333	-3,805	0,0006	***
Population urbaine	0,00772238	0,00572289	1,349	0,1864	
Industrie	-0,00900399	0,0139133	-0,6472	0,522	
Energies renouvelables	-7,89E-09	3,52E-09	-2,243	0,0317	**
Fermeture des écoles	0,693546	1,31352	0,528	0,601	
Fermeture lieux de travail	-0,523893	0,842801	-0,6216	0,5385	
Annulation événements publics	0,191889	0,475194	0,4038	0,689	
Restrictions rassemblements	0,533091	0,809675	0,6584	0,5148	
Obligation de rester au domicile	-2,13775	2,43252	-0,8788	0,3859	
Fermeture transports publics	-0,0589435	0,268801	-0,2193	0,8278	
Moyenne var. dép.	2,526625	Éc. type var. dép.	0,353053		
Somme carrés résidus	0,066127	Éc. type régression	0,044764		
R2 within	0,991838	R2 intra	0,960472		
F(32, 33) - LSDV	125,3196	P. critique (F)	1,29E-26		
Log de vraisemblance	134,2426	Critère d'Akaike	-202,4851		
Critère de Schwarz	-130,2265	Hannan-Quinn	-173,9323		
rho	0,560329	Durbin-Watson	0,636266		

Le R^2 est élevé (0,991838), ce qui indique que 99,18% de la variation de la variable dépendante est expliquée par les variables indépendantes dans le modèle.

En complément du R^2 , nous avons examiné d'autres indicateurs clés pour évaluer la validité et la robustesse de notre modèle à effets fixes. L'indice de Durbin-Watson, par exemple, affichait une valeur de 0,636266, indiquant une faible autocorrélation des résidus. De plus, le test de Wald pour les indicatrices temporelles n'est pas significatif à un niveau de confiance de 95%, ce qui signifie qu'il n'y a pas suffisamment de preuves pour conclure qu'il y a des effets temporels. Cependant, la p-valeur est de 0,0690837, donc cette conclusion est presque significative à un niveau de confiance de 90%.

Les résultats du test de significativité conjointe des régresseurs indiquent que, ensemble, les régresseurs sont statistiquement significatifs. De plus, le test de différence des constantes individuelles rejette l'hypothèse nulle d'une constante commune pour tous les individus, ce qui suggère qu'il y a des différences entre les individus.

Mais si nous prenons les variables covid de manière individuel, nous remarquons qu'elles sont soit non-significatives ($p > 0,05$) soit omises de l'étude pour multicollinéarité parfaite. Pour explorer cette multicollinéarité, nous pouvons nous pencher sur la matrice de corrélation (test 7) correspondante. Dans celle-ci, nous pouvons observer que toutes les variables covid semblent être fortement corrélées entre elles, avec des coefficients de corrélation proches de 1. Cela pourrait expliquer pourquoi certaines d'entre-elles ont été omises en raison de la multicollinéarité parfaite dans le modèle de régression : elles fournissent essentiellement la même information.

Deuxièmement, toutes ces variables ont une corrélation négative avec les émissions de CO₂ par habitant, mais les coefficients de corrélation sont relativement faibles (entre -0,1859 et -0,2879). Cela suggère qu'il y a peut-être une relation négative entre ces variables et les émissions de CO₂, mais cette relation est faible et pourrait ne pas être statistiquement significative dans un modèle de régression.

En conclusion, ces résultats suggèrent que, bien que ces variables soient fortement corrélées entre elles, elles n'ont qu'un faible impact sur les émissions de CO₂ par habitant. De plus, en raison de leur forte corrélation entre elles, il est difficile de distinguer leur impact individuel sur les émissions de CO₂ dans un modèle de régression.

6.2.3. MCO vs Effets fixes

Suite à l'exploration statistique avec ces deux modèles, nous avons pu illustrer des différences subtiles mais significatives dans les résultats des coefficients estimés entre les deux approches. Il est important de noter que ces différences peuvent être attribuées à la prise en compte des effets spécifiques à chaque unité d'observation dans les tests à effets fixes, ce qui réduit la variabilité expliquée par les variables explicatives communes.

En ce qui concerne la significativité statistique des coefficients, nous observons une différence entre les deux approches. Certaines des variables covid qui ont montré des effets significatifs dans les tests individuels MCO, telles que la restriction des rassemblements et la fermeture des transports publics, n'ont pas présenté des effets significatifs dans les tests individuels à effets fixes.

6.3. Significativité : confrontation entre lecture et observation

Tableau 6 : Signes observés

Variables	Signes attendus	Signes observés
CO ₂	?	?
PIB	+	+
Industrie	+	+
Urbanisation	+	+
Population	+	+
Le confinement	-	- à court terme
Energie renouvelable	-	-

Au début de cette étude, nous avons émis des attentes concernant les signes attendus de nos différentes variables. Suite à notre ensemble de tests, nous pouvons confirmer certaines de ces attentes. En ce qui concerne le PIB, l'industrie, l'urbanisation, la population et l'énergie renouvelable, nos analyses ont permis de mettre en avant des corrélations positives significatives avec notre variable CO₂, confirmant ainsi le signe attendu. Pour ce qui est du confinement, c'est un peu plus complexe. Lorsque nous avons pris les variables covid et les avons testées de manière individuelle en modèle à effets fixes avec les autres variables, nous avons pu constater des significativités statistiques positives et négatives. Cependant, dès que nous faisons un test en modèle à effets fixes avec toutes les variables, ces variables covid n'étaient plus significatives.

D'après les résultats de nos analyses, il est difficile de conclure de manière définitive sur le signe de la corrélation entre les variables covid et les émissions de CO₂. Certains coefficients indiquent une corrélation positive tandis que d'autres coefficients indiquent une corrélation négative. Cependant, il est important de noter que certains coefficients ne sont pas statistiquement significatifs à un seuil de 0,05, ce qui signifie qu'il existe une certaine incertitude associée à ces estimations. Il est important de noter que les valeurs spécifiques des coefficients peuvent varier et peuvent être influencées par d'autres facteurs contextuels et temporels.

Si nous amenons une réflexion croisée sur ces résultats et sur nos graphiques, nous pouvons rejoindre l'étude de Kumar et al. (2022) soulignant que le confinement de la Covid-19 a permis de réduire temporairement les émissions de CO₂ en raison des restrictions de déplacement et de l'arrêt partiel des activités économiques. Cependant, ils notaient que cette diminution était susceptible d'être de courte durée, car la reprise économique post-pandémique pouvait entraîner une croissance rapide des émissions. Et c'est effectivement ce que nous pouvons observer sur nos deux graphiques (Graphique 1 et graphique 2 disponibles en annexes).

7. Conclusion

Cette étude examine les répercussions occasionnées par le confinement Covid-19 sur la qualité de l'air au Benelux, mesurée par le taux de CO₂. L'augmentation du niveau de CO₂ et ses impacts sur l'environnement ainsi que la pandémie due à la Covid-19 sont des sujets d'actualité. De ce fait, de nombreuses études ont naturellement été menées sur les facteurs qui les influencent. Le but de cette étude est de vérifier s'il est possible d'établir un lien entre les mesures prises lors de la pandémie de la Covid-19 et des émissions de CO₂. Pour cela, nous avons utilisé un modèle complexe qui comprend des facteurs économiques tels que le PIB, le pourcentage d'industrialisation, la taille de la population, le pourcentage de population urbaine et les énergies renouvelables. Couplé à ces facteurs se retrouvent nos variables explicatives « Covid » à savoir les fermetures d'écoles, les fermetures de lieux de travail, les annulations d'événements publics, les restrictions des rassemblements, les obligations de rester à la maison, les fermetures des transports publics, les restrictions des déplacements internes, les contrôles des déplacements internationaux, et les campagnes d'information du public.

Après avoir mené une revue de la littérature approfondie, analysé les données recueillies et évalué les résultats obtenus, il est clair que le confinement Covid-19 a eu un impact significatif sur la qualité de l'air dans de nombreuses régions du monde, y compris la zone du Benelux. Les mesures de confinement ont entraîné une diminution de la pollution de l'air due à la réduction des émissions de CO₂.

Cependant, malgré les avantages observés, il est important de noter que la réduction de la pollution atmosphérique pendant le confinement n'a été qu'un effet temporaire. La reprise économique post-pandémique commence déjà à entraîner une augmentation rapide des émissions de CO₂, mettant ainsi en danger les progrès réalisés pendant le confinement. Cette étude, axée sur l'impact à court terme du confinement sur la qualité de l'air, met en évidence l'importance de prendre en compte les effets à long terme.

Pour assurer une amélioration durable de la qualité de l'air, il pourrait être intéressant que les gouvernements, les industries et les citoyens continuent de travailler ensemble. Les enseignements tirés de la pandémie soulignent l'importance de repenser nos modes de travail et de promouvoir des pratiques durables, telles que le télétravail et l'utilisation de technologies à faible émission de carbone.

La Belgique, les Pays-Bas et le Luxembourg, rassemblés sous le Benelux, partagent des caractéristiques géographiques, économiques, politiques et sociales communes. De ce fait, la mise en place des politiques et des mesures spécifiques prises pour réduire les émissions de CO₂ et promouvoir la durabilité est pratiquement similaire. Nous pouvons donc espérer pouvoir contribuer à une compréhension plus approfondie des émissions de CO₂ dans cette région spécifique, ce qui peut être utile pour les décideurs politiques et les acteurs locaux cherchant à prendre des mesures efficaces. En termes de mesures politiques possibles, la transition vers des énergies renouvelables pourrait jouer un rôle clé dans l'amélioration de la qualité de l'air à long terme. Testée dans cette étude, nous avons observé que la variable « énergie renouvelable » a toujours été significative dans les différents tests opérés. Les technologies photovoltaïques et éoliennes pourraient donc offrir des solutions viables pour réduire les émissions de CO₂ et améliorer la qualité de l'air.

Au niveau des limites que nous pouvons soulever, notons que notre étude n'est basée que sur le CO₂ pour qualifier la qualité de l'air. Il faut prendre conscience que celui-ci n'est qu'un parmi bon nombre d'autres gaz indicateurs de la qualité de l'air. Il pourrait être intéressant de s'intéresser aux différents indicateurs existants comme l'Oxydes d'azote (NO_x), les Particules fines (PM), l'Ozone (O₃), le Monoxyde de carbone (CO) ou encore les Composés organiques volatils (COV), et de pousser l'analyse un peu plus loin.

De plus, notre forme quadratique est limitée ; il est en effet incorrect de supposer que le développement économique résoudra automatiquement les problèmes environnementaux et ce, malgré le fait que les pays à faible revenu par habitant connaissent une augmentation de la pollution, tandis que les pays industrialisés ont réussi à réduire leurs émissions.

En plus de la forme de notre modèle, les résultats en eux-mêmes ont montrés de la multicollinéarité. Le modèle à effets fixes utilisé ne résout pas ce problème car la multicollinéarité se réfère à une situation dans laquelle deux ou plusieurs variables explicatives dans un modèle de régression sont fortement corrélées entre elles. Cela rend difficile l'estimation précise des coefficients de régression individuels car il devient difficile de déterminer l'effet isolé de chaque variable sur la variable dépendante. Les résultats nous suggèrent donc que si nous voulons comprendre l'effet des variables Covid sur le CO2 de manière plus optimale, il pourrait être préférable de les inclure une à la fois dans notre modèle, ou d'utiliser une méthode qui peut gérer la multicollinéarité, comme la régression ridge ou lasso. De plus, il peut être utile de chercher des façons de modéliser les effets non linéaires ou les interactions entre les variables.

En conclusion, l'impact du confinement Covid-19 sur la qualité de l'air a été significatif et positif dans de nombreuses régions du monde, y compris le Benelux, réduisant les niveaux de pollution atmosphérique et améliorant la santé publique. Cependant, il est important de se rappeler que cette amélioration était temporaire et qu'il est nécessaire de poursuivre les efforts pour trouver des solutions durables pour maintenir une bonne qualité de l'air à long terme.

8. Bibliographie

- Andreoni, V. (2021). Estimating the european CO2 emissions change due to COVID-19 restrictions. *Science of the total environment*, 769, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145115>
- Andersson, F. N. G., & Karpestam, P. (2013). CO2 emissions and economic activity: short- and long-run economic determinants of scale, energy intensity and carbon intensity. *Energy policy*, 61, 1285-1294. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.004>
- Balogh, J. M., & Jámbor, A. (2017). Determinants of CO2 emission: a global evidence. *International journal of energy economics and policy*, 7, 217-226.
- Cheval, S., Adamescu, C., Georgiadis, T., Herrnegger, M., Piticar, A., & Legates, D. (2020). Observed and potential impacts of the COVID-19 pandemic on the environment. *International journal of environmental research and public health*, 17, 1-25. [doi:10.3390/ijerph17114140](https://doi.org/10.3390/ijerph17114140)
- Friedl, B., & Getzner, M. (2003). Determinants of CO2 emissions in a small open economy. *Ecological economics*, 45, 133-148. [http://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00008-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00008-9)
- Heil, M. T., & Selden T. M. (2001). Carbon emissions and economic development : future trajectories based on historical experience. *Environment and development economics*, 6, 63-83. <https://doi.org/10.1017/S1355770X01000043>
- Holtz-Eakin, D., & Selden, T. M. (1995). Stoking the fires? CO2 emissions and economic growth. *Journal of public economics*, 57, 85-101. [https://doi.org/10.1016/0047-2727\(94\)01449-X](https://doi.org/10.1016/0047-2727(94)01449-X)
- Idowu, G. A., Olalemi, A. O., & Aiyesanmi, F. A. (2023). Environmental impacts of covid-19 pandemic: release of microplastics, organic contaminants and trace metals from face masks under ambient environmental conditions. *Environmental research*, 217, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114956>
- Institut pour l'éducation financière du public. (2022). Les chocs pétroliers (1973-1979). <https://www.lafinancepourtous.com/juniors/lyceens/les-crises/les-chocs-petroliers-1973-1979/>
- Kangyin, D., Xiucheng, D., & Cong, D. (2019). Determinants of the global and regional CO2 emissions: what causes what and where? *Applied economics*, 51, 1-15. <https://doi.org/10.1080/00036846.2019.160410>
- Kumar, A., Singh, P., Raizada, P., & Hussain, C. M. (2022). Impact of COVID-19 on greenhouse gases emissions: a critical review. *Science of the total environment*, 806, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150349>
- Maital, S., & Barzani, E. (2020). *The global economic impact of COVID-19: a summary of research*. Samuel Neaman Institute for National Policy Research.
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). (2021). Conséquences environnementales à long terme du COVID-19. <https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/consequences-environnementales-a-long-terme-du-covid-19-3f6e0c70/>
- Oraka, N. H., Alshehrib, K., & Chen, X. (2022). The impacts on greenhouse gases mission during the COVID-19 lockdown in the US: an economic input-output life cycle assessment. *Procedia CIRP*, 105, 25-30. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.005>
- Our World in Data. (n.d.). Coronavirus Pandemic (COVID-19). Récupéré de <https://ourworldindata.org/coronavirus#explore-the-global-situation>
- Shafik, N., & Bandyopadhyay, S. (1992). *Economic growth and environmental quality: Time series and cross-country evidence*. World Bank Publications.
- Sikarwar, V. S., Reichert, A., Jeremias, M., & Manovic, V. (2021). COVID-19 pandemic and global carbon dioxide emissions: a first assessment. *Science of the total environment*, 794, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148770>

- The World Bank. (s.d.). Industry.
<https://data.worldbank.org/indicator/NV.IND.TOTL.ZS?fbclid=IwAR20YXx6JkXw8b6E5RxxQdd4vTIFyQ4SCzpRBGewUcxNKHjyav0dKTR37Y0>
- The World Bank. (s.d.). PIB par habitant.
https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NY.GDP.PCAP.CD?most_recent_year_desc=false&fbclid=IwAR2BXiiXev3mBZs7KT5Uu27QbyK2FXdOrHoPdDMSWf2PlD3gnHP8Mb814xY
- The World Bank. (s.d.). Urban population.
<https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS?fbclid=IwAR0FInI2uGzHtVnsNOJbZ5C3B1FBX8Go2E6IQDXvdu9VWcBvdqOOtM6XQFo>
- The World Bank. (2022). Population Total.
https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?fbclid=IwAR3B6vsvLrPisSc-EEEnm4USYp_j-WlhzhBl ai t1odlAarUr045SdMXAS8

9. Annexes : Tableaux

9.1. Tableau 1 : liste des pays

Amérique du nord	Bahamas, Barbade, Belize, Les Bermudes, Costa Rica, Dominique, République dominicaine, El Salvador, Guatemala, Haïti, Honduras, Jamaïque, Nicaragua, Panama, Etats-Unis
Amérique du sud	Argentine, Bolivie, Brésil, Chili, Colombie, Équateur, Guyana, Mexique, Paraguay, Pérou, Suriname, Trinité-et-Tobago, Uruguay
Europe	Albanie, Autriche, Biélorussie, Belgique, Bulgarie, Croatie, Chypre, Tchéquie, Danemark, Estonie, Îles Féroé, Finlande, France, Géorgie, Allemagne, Grèce, Hongrie, Islande, Irlande, Italie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Moldavie, Pays-Bas, Norvège, Pologne, Portugal, Roumanie, Serbie, Slovaquie, Slovénie, Espagne, Suède, Suisses, Ukraine, Royaume-Uni
Asie	Afghanistan, Azerbaïdjan, Bahreïn, Bangladesh, Bhoutan, Brunéi, Darussalam, Cambodia, Chine, Hong Kong, Inde, Indonésie, Iran, Irak, Israël, Jordanie, Kazakhstan, Kirghizistan, Laos, Liban, Macao, Malaisie, Mongolie, Birmanie, Népal, Oman, Pakistan, Philippines, Qatar, Russie, Arabie saoudite, Singapour, Sri Lanka, Thaïlande, Timor-Leste, Tunisie, Turquie, Émirats arabes unis, Ouzbékistan, Vietnam
Afrique	Algérie, Angola, Bénin, Botswana, Burkina Faso, Burundi, Cameroun, République centrafricaine, Tchad, Côte d'Ivoire, Égypte, Eswatini, Éthiopie, Gabon, Gambie, Ghana, Guinée, Kenya, Lesotho, Libéria, Malawi, Mali, Mauritanie, Maurice, Maroc, Mozambique, Namibie, Niger, Nigeria, Rwanda, Sénégal, Seychelles, Sierra Leone, Afrique du Sud, Soudan, Tanzanie, Togo, Ouganda, Zambie, Zimbabw
Océanie	Australie, Fiji, Tonga

9.2. Tableau 2 : description des variables économiques

Variabiles	Définition	Sources
PIB/hab	Le PIB par habitant est le produit intérieur brut divisé par la population en milieu d'année. Le PIB est la somme de la valeur ajoutée brute de tous les producteurs résidents d'une économie plus toutes taxes sur les produits et moins les subventions non incluses dans la valeur des produits. Elle est calculée sans effectuer de déductions pour la dépréciation des biens fabriqués ou la perte de valeur ou la dégradation des ressources naturelles. Les données sont en dollars américains courants.	La Banque Mondiale
Urbanisation	La population urbaine se réfère aux personnes vivant dans les zones urbaines telles que définies par les bureaux nationaux de statistiques. Les données sont collectées et lissées par la Division de la population des Nations unies.	La Banque Mondiale
Taille de la population	La population totale est basée sur la définition de facto de la population, qui compte tous les résidents indépendamment de leur statut juridique ou de leur citoyenneté. Les valeurs indiquées sont des estimations en milieu d'année.	La Banque Mondiale
Industrie	L'industrie (y compris la construction) correspond aux divisions 05-43 de la CITI et inclut l'industrie manufacturière (divisions 10-33 de la CITI). Elle comprend la valeur ajoutée dans l'exploitation minière, l'industrie manufacturière (également présentée comme un sous-groupe distinct), la construction, l'électricité, l'eau et le gaz. La valeur ajoutée est la production nette d'un secteur après addition de toutes les productions et soustraction des intrants intermédiaires. Elle est calculée sans déduire la dépréciation des actifs fabriqués ou l'épuisement et la dégradation des ressources naturelles. L'origine de la valeur ajoutée est déterminée par la Classification internationale type par industrie (CITI), révision 4. Note : Pour les pays VAB, la valeur ajoutée brute au coût des facteurs est utilisée comme dénominateur.	La Banque Mondiale
Energie renouvelable	« Energies renouvelables' désigne la part de ces énergies dans les approvisionnements totaux en énergie primaire (ATEP). Les données indiquent notamment, en équivalent énergie primaire, les productions hydroélectrique (hors stations de pompage), géothermique, solaire, éolienne, marémotrice et houlomotrice ;ainsi que l'énergie tirée de biocombustibles. solides, bioessence, biogazole, autres biocarburants, biogaz et déchets municipaux renouvelables. » OCDE (2023)	OCDE

9.3. Tableau 3 : description des variables covid

Moyenne de fermetures des écoles

- Correspond à la moyenne annuelle des données journalières des mesures prises par chaque pays en termes de fermetures des écoles comme réponse politique prises contre la Covid-19
- Ces mesures sont définies comme suit :
 - 0 - Pas de mesures
 - 1 - recommande la fermeture
 - 2 - Exiger la fermeture (seulement certains niveaux ou catégories, par exemple seulement l'école secondaire, ou seulement les écoles publiques)
 - 3 - Exiger la fermeture de tous les niveaux

Moyenne de fermetures de lieux de travail

- Correspond à la moyenne annuelle des données journalières des mesures prises par chaque pays en termes de fermetures des lieux de travail comme réponse politique prises contre la Covid-19
- Ces mesures sont définies comme suit :
 - 0 - Pas de mesures
 - 1 - recommander la fermeture (ou le travail à domicile)
 - 2 - exiger la fermeture (ou le travail à domicile) pour certains secteurs ou catégories de travailleurs
 - 3 - exiger la fermeture (ou le travail à domicile) de tous les lieux de travail à l'exception des lieux de travail essentiels (par exemple, les épiceries, les médecins)

Moyenne de annulations d'événements publics

- Correspond à la moyenne annuelle des données journalières des mesures prises par chaque pays en termes d'annulations d'événements publics comme réponse politique prises contre la Covid-19
- Ces mesures sont définies comme suit :
 - 0- Pas de mesures
 - 1 - Recommander l'annulation
 - 2 - Demande d'annulation

Moyenne de restrictions des rassemblements

- Correspond à la moyenne annuelle des données journalières des mesures prises par chaque pays en termes de restrictions des rassemblements comme réponse politique prises contre la Covid-19
- Ces mesures sont définies comme suit :
 - 0 - Aucune restriction
 - 1 - Restrictions pour les très grands rassemblements (la limite est supérieure à 1 000 personnes)
 - 2 - Restrictions pour les rassemblements de 100 à 1 000 personnes
 - 3 - Restrictions pour les rassemblements de 10 à 100 personnes
 - 4 - Restrictions pour les rassemblements de moins de 10 personnes

Moyenne de obligations de rester à la maison

- Correspond à la moyenne annuelle des données journalières des mesures prises par chaque pays en termes d'obligation de rester à la maison comme réponse politique prises contre la Covid-19
- Ces mesures sont définies comme suit :
 - 0 - Pas de mesures

- 1 - recommande de ne pas quitter la maison
- 2 - exiger de ne pas quitter la maison avec des exceptions pour l'exercice quotidien, les courses et les déplacements "essentiels".
- 3 - Exiger de ne pas quitter le domicile avec des exceptions minimales (par exemple, autorisation de sortir seulement une fois tous les quelques jours, ou une seule personne peut sortir à la fois, etc.)

Moyenne de fermetures des transports publics

- Correspond à la moyenne annuelle des données journalières des mesures prises par chaque pays en termes de fermetures des transports publics comme réponse politique prises contre la Covid-19
- Ces mesures sont définies comme suit :
 - 0 - Pas de mesures
 - 1 - Recommandation de fermeture (ou réduction significative du volume, de l'itinéraire et des moyens de transport disponibles)
 - 2 - Exiger la fermeture (ou interdire à la plupart des citoyens de l'utiliser)

Moyenne de restrictions des déplacements internes

- Correspond à la moyenne annuelle des données journalières des mesures prises par chaque pays en termes de restrictions des déplacements internes comme réponse politique prises contre la Covid-19
- Ces mesures sont définies comme suit :
 - 0 - Pas de mesures
 - 1 - Recommandation de restriction de mouvement
 - 2 - Restreindre les mouvements

Moyenne de contrôles des déplacements internationaux

- Correspond à la moyenne annuelle des données journalières des mesures prises par chaque pays en termes de contrôles des déplacements internationaux comme réponse politique prises contre la Covid-19
- Ces mesures sont définies comme suit :
 - 0 - Pas de mesures
 - 1 - Filtrage
 - 2 - Mise en quarantaine des arrivées en provenance de régions à haut risque
 - 3 - Interdiction des régions à haut risque
 - 4 - Fermeture totale des frontières

Moyenne de campagnes d'information du public

- Correspond à la moyenne annuelle des données journalières des mesures prises par chaque pays en termes de campagne d'information au public comme réponse politique prises contre la Covid-19
- Ces mesures sont définies comme suit :
 - 0 - Pas de campagne d'information publique sur le COVID-19
 - 1 - Les autorités publiques incitent à la prudence à l'égard du COVID-19
 - 2 - Campagne d'information publique coordonnée (par exemple, dans les médias traditionnels et sociaux)
 - Pas de données – vide

9.4. Tableau 4 : signes attendus

Variables	Signes attendus	Sources
CO2	?	?
PIB	+	Ang (2007)
Industrie	+	Adom et al. (2012), Agence de protection de l'environnement américain (2017)
Urbanisation	+	Jones (1991), Andersson & Karpestam
Population	+	Kangyin Dong, Xiucheng Dong, Cong Dong (2019)
Le confinement	-	OCDE
Energie renouvelable	-	Kumar et al. (2022)

9.5. Tableau 5 : signification des variables

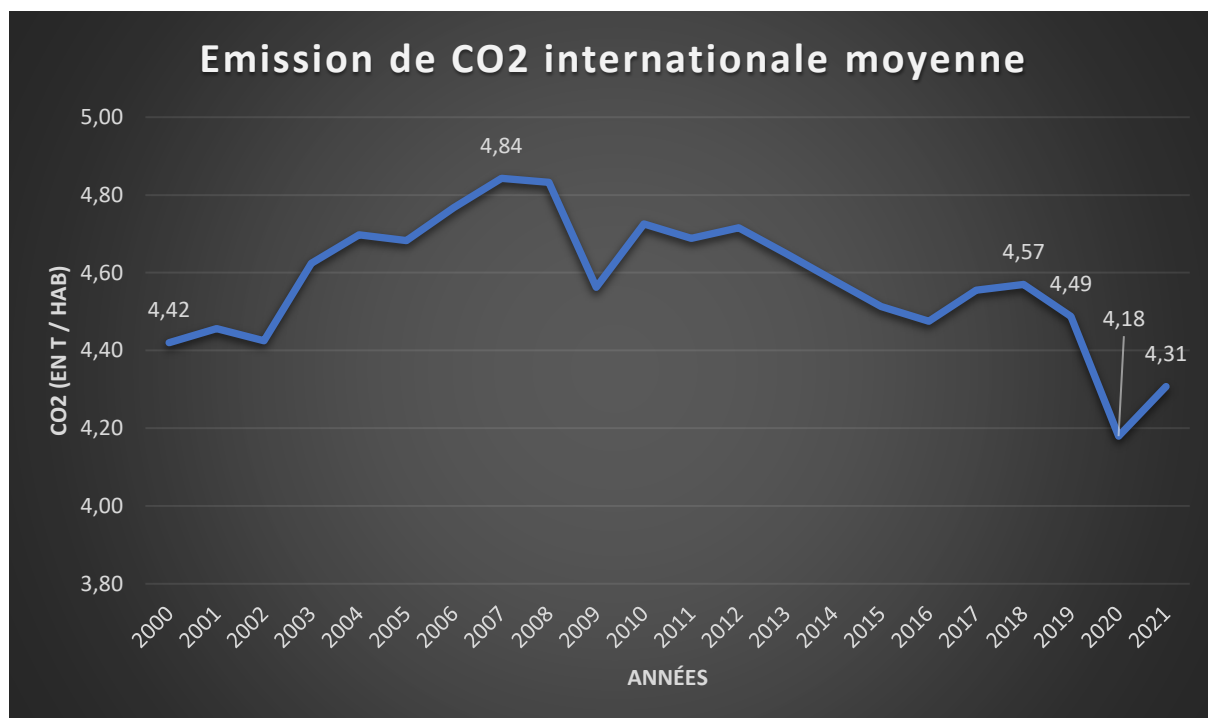
i représente le pays	Représente le pays
t représente le temps	Représente le temps
$\ln CO2_{it}$	Représente l'émission de CO2 par habitant du pays i à l'année t, cette variable est notre variable dépendante.
$\ln PIB_{it}$ et $(\ln PIB_{it})^2$	Représentent respectivement le logarithme du PIB et le carré du logarithme du PIB du pays i à l'année t.
URBAN _{it}	Représente la population urbaine (en pourcentage de la population totale) du pays i à l'année t.
INDUSTRIE _{it}	Représente le taux d'industrialisation du pays i (en pourcentage du PIB) à l'année t.
$\ln POP_{it}$	Représente le logarithme de la taille de la population du pays i à l'année t.
COVID _{it}	Représente le niveau de confinement dans le pays i à l'année t.
EN_RENOUV _{it}	La part de l'énergie renouvelable dans le total de l'énergie primaire pour le pays i à l'année t. Cette variable donne une idée du degré de transition vers des sources d'énergie plus propres et plus durables dans un pays donné.
u_i	Représente les effets fixes spécifique au pays i.
e_{it}	Représente l'erreur idiosyncrasique, c'est-à-dire l'erreur qui n'est pas expliquée par le modèle.

9.6. Tableau 6 : signes observés

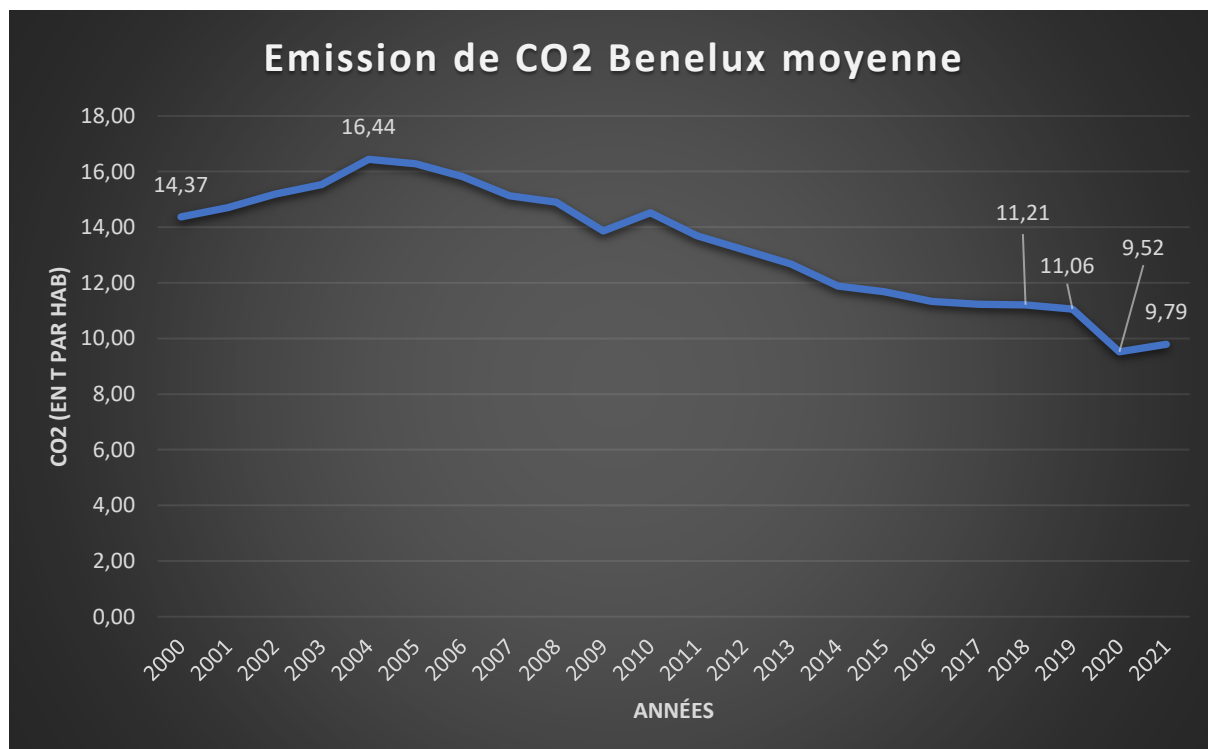
Variables	Signes attendus	Signes observés
CO2	?	?
PIB	+	+
Industrie	+	+
Urbanisation	+	+
Population	+	+
Le confinement	-	- à court terme
Energie renouvelable	-	-

10. Annexes : Graphiques

10.1. Graphique 1 : émission de CO2 moyenne à l'internationale



10.2. Graphique 2 : émission de CO2 moyenne du Benelux



11. Annexes : Tests

11.1. Test 1 : méthode MCO global sur horizon international

Modèle 27: MCO empilés, utilisant 3080 observations

140 processus individuels inclus

Dimension temporelle = 22

Variable dépendante: CO2

	coefficient	éc. type	t de Student	p. critique	
const	-6,82092	0,154815	-44,06	0	***
PIB	0,385552	0,00646063	59,68	0	***
Population	0,00850506	0,0068775	1,237	0,2163	
Population urbaine	0,00820074	0,00084263	9,732	4,59E-22	***
Industrie	0,0305688	0,00108975	28,05	3,32E-154	***
Fermeture des écoles	0,228623	0,0988381	2,313	0,0208	**
Fermeture des lieux de travail	-0,111633	0,117586	-0,9494	0,3425	
Annulation éven public	0,0932716	0,168142	0,5547	0,5791	
Restriction des rassemblements	0,00824633	0,0714091	0,1155	0,9081	
Obligation de rester à la maison	-0,0160388	0,0884134	-0,1814	0,8561	
Fermeture des transports publics	0,0908355	0,12157	0,7472	0,455	
Restrictions des mouvements internes	0,115721	0,0982932	1,177	0,2392	
Restriction des voyages internationaux	0,0896526	0,0691767	1,296	0,1951	
Campagne d'information du public	-0,403909	0,222809	-1,813	0,07	*
dt_2	0,0225841	0,077673	0,2908	0,7713	
dt_3	-0,00980041	0,0776759	-0,1262	0,8996	
dt_4	-0,0773486	0,0776959	-0,9955	0,3196	
dt_5	-0,178693	0,0777536	-2,298	0,0216	**
dt_6	-0,276986	0,077825	-3,559	0,0004	***
dt_7	-0,378867	0,0779305	-4,862	1,22E-06	***
dt_8	-0,473771	0,0780955	-6,067	1,47E-09	***
dt_9	-0,579838	0,0782806	-7,407	1,66E-13	***
dt_10	-0,486992	0,0781822	-6,229	5,34E-10	***
dt_11	-0,527458	0,0782986	-6,736	1,93E-11	***
dt_12	-0,621589	0,0784599	-7,922	3,24E-15	***
dt_13	-0,610589	0,0784722	-7,781	9,78E-15	***
dt_14	-0,633674	0,0785391	-8,068	1,02E-15	***
dt_15	-0,621177	0,0785649	-7,907	3,67E-15	***
dt_16	-0,51114	0,0784351	-6,517	8,38E-11	***

dt_17	-0,481902	0,0784168	-6,145	9,01E-10	***
dt_18	-0,529376	0,0784923	-6,744	1,83E-11	***
dt_19	-0,580339	0,078534	-7,39	1,89E-13	***
dt_20	-0,569507	0,0785284	-7,252	5,18E-13	***
dt_21	-0,641902	0,353263	-1,817	0,0693	*
dt_22	-0,500771	0,39529	-1,267	0,2053	

Moyenne var. dép.	0,718005	Éc. type var. dép.	1,513286
Somme carrés résidus	1285,863	Éc. type régression	0,649836
R2	0,817634	R2 ajusté	0,815598
F(34, 3045)	401,536	P. critique (F)	0
Log de vraisemblance	-3025,141	Critère d'Akaike	6120,283
Critère de Schwarz	6331,426	Hannan-Quinn	6196,129
rho	0,964661	Durbin-Watson	0,048555

Constante mise à part, la probabilité critique est la plus élevée pour la variable 11 (Restriction_rassemblements)

11.2. Test 2 : modèle à effets fixes global sur horizon international

Modèle 28: Effets fixes, utilisant 3080 observations

140 processus individuels inclus

Dimension temporelle = 22

Variable dépendante: CO2

	coefficient	éc. type	t de Student	p. critique	
const	-12,1855	0,726706	-16,77	2,61E-60	***
PIB	0,193335	0,00783563	24,67	3,35E-122	***
Population	0,525566	0,045607	11,52	4,46E-30	***
Population urbaine	0,0211611	0,00177778	11,9	6,22E-32	***
Industrie	0,00946171	0,00104746	9,033	2,97E-19	***
Fermeture des écoles	0,0398773	0,0289811	1,376	0,1689	
Fermeture des lieux de travail	-0,0376508	0,0346117	-1,088	0,2768	
Annulation événement publics	0,0240751	0,0490968	0,4904	0,6239	
Restriction des rassemblements	-0,0618295	0,0209487	-2,951	0,0032	***
Obligation de rester à la maison	0,0475297	0,0262646	1,81	0,0705	*
Fermeture des transports publics	0,125677	0,0357563	3,515	0,0004	***
Restriction des mouvements internes	-0,0180415	0,028948	-0,6232	0,5332	
Restriction des voyages internationaux	0,0286741	0,0203819	1,407	0,1596	
Campagne d'information du public	-0,132849	0,0651963	-2,038	0,0417	**
dt_2	0,00406633	0,0221712	0,1834	0,8545	

dt_3	-0,0232051	0,0222348	-1,044	0,2967	
dt_4	-0,0530171	0,0224644	-2,36	0,0183	**
dt_5	-0,100284	0,0229483	-4,37	1,29E-05	***
dt_6	-0,158439	0,0235228	-6,736	1,96E-11	***
dt_7	-0,209617	0,0242739	-8,635	9,48E-18	***
dt_8	-0,262067	0,0254232	-10,31	1,70E-24	***
dt_9	-0,323961	0,0266356	-12,16	3,11E-33	***
dt_10	-0,310392	0,0265546	-11,69	7,06E-31	***
dt_11	-0,320471	0,0274533	-11,67	8,40E-31	***
dt_12	-0,365928	0,028526	-12,83	1,11E-36	***
dt_13	-0,367255	0,0289406	-12,69	5,94E-36	***
dt_14	-0,395516	0,0296464	-13,34	1,89E-39	***
dt_15	-0,397654	0,0301565	-13,19	1,32E-38	***
dt_16	-0,355314	0,0298735	-11,89	6,90E-32	***
dt_17	-0,342737	0,0301319	-11,37	2,32E-29	***
dt_18	-0,369181	0,0308987	-11,95	3,72E-32	***
dt_19	-0,402637	0,031491	-12,79	1,86E-36	***
dt_20	-0,408468	0,0318488	-12,83	1,15E-36	***
dt_21	-0,310417	0,106703	-2,909	0,0037	***
dt_22	-0,255037	0,11909	-2,142	0,0323	**

Moyenne var. dép.	0,718005	Éc. type var. dép.	1,513286
Somme carrés résidus	99,80279	Éc. type régression	0,185321
R2 within	0,985846	R2 intra	0,398764
F(173, 2906) - LSDV	1169,95	P. critique (F)	0
Log de vraisemblance	911,082	Critère d'Akaike	-1474,164
Critère de Schwarz	-424,4768	Hannan-Quinn	-1097,099
rho	0,842844	Durbin-Watson	0,301634

Test de significativité conjointe des régresseurs-

Statistique de test: $F(13, 2906) = 101,673$

avec p. critique = $P(F(13, 2906) > 101,673) = 3,95012e-225$

Test de différence des constantes individuelles-

Hypothèse nulle: Constante commune pour tous les individus

Statistique de test: $F(139, 2906) = 248,453$

avec p. critique = $P(F(139, 2906) > 248,453) = 0$

Test de Wald de significativité conjointe des indicatrices temporelles-

Hypothèse nulle: Pas d'effets temporels

Statistique du test asymptotique: Khi-deux(21) = 344,414

avec p. critique = 2,65454e-60

11.3. Test 3 : méthode MCO individuel sur variable covid « fermeture des transports publics »

Modèle 24: MCO empilés, utilisant 66 observations

3 processus individuels inclus

Dimension temporelle = 22

Variable dépendante: l_AnnualemissionsCO2percapit

	coefficient	éc. type	t de Student	p. critique	
const	-3,78239	3,47515	-1,088	0,2833	
PIB	0,305941	0,121333	2,521	0,016	**
Population	-0,033543	0,0434647	-0,7717	0,445	
Population urbaine	0,0163016	0,00469293	3,474	0,0013	***
Industrie	-0,0404337	0,0137178	-2,948	0,0055	***
Energies renouvelables	6,98E-09	1,70E-09	4,102	0,0002	***
Fermeture des transports publics	-0,356076	0,153863	-2,314	0,0262	**
dt_2	-0,00778157	0,0498398	-0,1561	0,8768	
dt_3	-0,0723193	0,0570376	-1,268	0,2125	
dt_4	-0,202181	0,092906	-2,176	0,0358	**
dt_5	-0,282922	0,125633	-2,252	0,0302	**
dt_6	-0,364807	0,139933	-2,607	0,013	**
dt_7	-0,471541	0,160335	-2,941	0,0055	***
dt_8	-0,600424	0,198437	-3,026	0,0044	***
dt_9	-0,723043	0,226374	-3,194	0,0028	***
dt_10	-0,819569	0,210525	-3,893	0,0004	***
dt_11	-0,789267	0,213355	-3,699	0,0007	***
dt_12	-0,910025	0,231395	-3,933	0,0003	***
dt_13	-0,936155	0,221339	-4,23	0,0001	***
dt_14	-1,01393	0,234837	-4,318	0,0001	***
dt_15	-1,10042	0,240701	-4,572	5,01E-05	***
dt_16	-1,01398	0,210583	-4,815	2,36E-05	***
dt_17	-1,06664	0,217793	-4,898	1,83E-05	***
dt_18	-1,13878	0,232007	-4,908	1,77E-05	***
dt_19	-1,20347	0,251259	-4,79	2,55E-05	***
dt_20	-1,22027	0,251751	-4,847	2,14E-05	***
dt_21	-1,3463	0,248423	-5,419	3,56E-06	***
dt_22	-1,36096	0,268762	-5,064	1,09E-05	***

Moyenne var. dép.	2,526625	Éc. type var. dép.	0,353053
Somme carrés résidus	0,139348	Éc. type régression	0,060556
R2	0,982801	R2 ajusté	0,97058
F(27, 38)	80,42266	P. critique (F)	5,41E-26
Log de vraisemblance	109,6445	Critère d'Akaike	-163,289
Critère de Schwarz	-101,9787	Hannan-Quinn	-139,0624
rho	0,754673	Durbin-Watson	0,406623

Constante mise à part, la probabilité critique est la plus élevée pour la variable 23 (dt_2)

11.4. Test 4 : méthode MCO global sur horizon Benelux

Modèle 32: MCO empilés, utilisant 66 observations

3 processus individuels inclus

Dimension temporelle = 22

Variable dépendante: I_AnnualemissionsCO2percapit

Omis pour cause de multicollinéarité parfaite : Restrictions_mouvements_interne

Controle_voyage_international Campagne_information_public dt_21 dt_22

	coefficient	éc.type	tdeStudent	p.critique	
const	-4,72977	3,85199	-1,228	0,2277	
PIB	0,337486	0,133753	2,523	0,0163	**
Population	-0,0195865	0,0483438	-0,4052	0,6878	
Population urbaine	0,0173011	0,0054439	3,178	0,0031	***
Industrie	-0,0406024	0,0143302	-2,833	0,0076	***
Energies renouvelables	6,99E-09	2,32E-09	3,016	0,0047	***
Fermeture des écoles	-0,697116	1,43892	-0,4845	0,6311	
Fermeture des lieux de travail	-0,442072	0,901869	-0,4902	0,6271	
Annulation événement publics	1,09727	0,61548	1,783	0,0833	*
Restriction des rassemblements	-0,357722	0,902461	-0,3964	0,6942	
Obligation de rester à la maison	-0,237204	2,6888	-0,08822	0,9302	
Fermeture des transports publics	-0,584242	0,339926	-1,719	0,0945	*
dt_2	-0,00887755	0,0507751	-0,1748	0,8622	
dt_3	-0,0796676	0,0602894	-1,321	0,1949	
dt_4	-0,223199	0,102865	-2,170	0,0369	**
dt_5	-0,313515	0,141026	-2,223	0,0328	**
dt_6	-0,398892	0,158611	-2,515	0,0167	**
dt_7	-0,511165	0,182679	-2,798	0,0083	***
dt_8	-0,649964	0,225113	-2,887	0,0066	***
dt_9	-0,779816	0,258345	-3,019	0,0047	***

dt_10	-0,871581	0,244037	-3,572	0,0011	***
dt_11	-0,841188	0,248411	-3,386	0,0018	***
dt_12	-0,966784	0,268894	-3,595	0,001	***
dt_13	-0,989402	0,259036	-3,820	0,0005	***
dt_14	-1,07087	0,274761	-3,897	0,0004	***
dt_15	-1,15920	0,281555	-4,117	0,0002	***
dt_16	-1,06330	0,248418	-4,280	0,0001	***
dt_17	-1,11758	0,257189	-4,345	0,0001	***
dt_18	-1,19308	0,274452	-4,347	0,0001	***
dt_19	-1,26272	0,296746	-4,255	0,0001	***
dt_20	-1,27846	0,298253	-4,287	0,0001	***

Moyenne var. dép.	2,526625	Éc. type var. dép.	0,353053
Somme carrés résidus	0,132455	Éc. type régression	0,061518
R2	0,983652	R2 ajusté	0,969639
F(30, 35)	70,1961	P. critique (F)	1,55E-23
Log de vraisemblance	111,3186	Critère d'Akaike	-160,6372
Critère de Schwarz	-92,75792	Hannan-Quinn	-133,8149
rho	0,734887	Durbin-Watson	0,434599

Constante mise à part, la probabilité critique est la plus élevée pour la variable 13 (Obligation_rester_maison)

11.5. Test 5 : modèle à effets fixes individuel sur variable covid « obligation de rester à la maison »

Modèle 23: Effets fixes, utilisant 66 observations

3 processus individuels inclus

Dimension temporelle = 22

Variable dépendante: l_AnnualemissionsCO2percapit

	coefficient	éc. type	t de Student	p. critique	
const	29,8483	4,88152	6,115	4,89E-07	***
PIB	0,298412	0,142389	2,096	0,0432	**
Population	-2,21297	0,374768	-5,905	9,31E-07	***
Population urbaine	0,00606785	0,00382549	1,586	0,1214	
Industrie	-0,00629288	0,0116221	-0,5415	0,5915	
Energies renouvelables	-8,81E-09	2,44E-09	-3,612	0,0009	***
Obligation de rester à la maison	-1,44626	0,545212	-2,653	0,0118	**
dt_2	0,0314818	0,0358235	0,8788	0,3853	
dt_3	0,0143002	0,0428159	0,334	0,7403	
dt_4	-0,0756633	0,0851911	-0,8882	0,3804	

dt_5	-0,0994773	0,12032	-0,8268	0,4138	
dt_6	-0,111353	0,131832	-0,8447	0,4039	
dt_7	-0,161744	0,151347	-1,069	0,2923	
dt_8	-0,257344	0,192062	-1,34	0,1887	
dt_9	-0,291836	0,21865	-1,335	0,1903	
dt_10	-0,279321	0,194688	-1,435	0,16	
dt_11	-0,181663	0,194361	-0,9347	0,3562	
dt_12	-0,257693	0,211356	-1,219	0,2307	
dt_13	-0,218196	0,198209	-1,101	0,2783	
dt_14	-0,253437	0,21055	-1,204	0,2366	
dt_15	-0,312637	0,215177	-1,453	0,1549	
dt_16	-0,182074	0,185259	-0,9828	0,3323	
dt_17	-0,186703	0,191985	-0,9725	0,3373	
dt_18	-0,188335	0,205428	-0,9168	0,3654	
dt_19	-0,200691	0,22316	-0,8993	0,3745	
dt_20	-0,154289	0,224618	-0,6869	0,4965	
dt_21	1,22332	0,712207	1,718	0,0945	*
dt_22	1,1259	0,691541	1,628	0,1122	

Moyenne var. dép.	2,526625	Éc. type var. dép.	0,353053
Somme carrés résidus	0,066649	Éc. type régression	0,043028
R2 within	0,991774	R2 intra	0,96016
F(29, 36) - LSDV	149,6631	P. critique (F)	8,39E-30
Log de vraisemblance	133,9829	Critère d'Akaike	-207,9659
Critère de Schwarz	-142,2763	Hannan-Quinn	-182,0088
rho	0,55301	Durbin-Watson	0,652019

Test de significativité conjointe des régresseurs-

Statistique de test: $F(6, 36) = 15,5411$

avec p. critique = $P(F(6, 36) > 15,5411) = 1,04888e-08$

Test de différence des constantes individuelles-

Hypothèse nulle: Constante commune pour tous les individus

Statistique de test: $F(2, 36) = 24,9376$

avec p. critique = $P(F(2, 36) > 24,9376) = 1,59889e-07$

Test de Wald de significativité conjointe des indicatrices temporelles-

Hypothèse nulle: Pas d'effets temporels

Statistique du test asymptotique: $\text{Khi-deux}(21) = 48,8324$

avec p. critique = 0,000529062

11.6. Test 6 : modèle à effets fixes global sur horizon Benelux

Modèle 33: Effets fixes, utilisant 66 observations

3 processus individuels inclus

Dimension temporelle = 22

Variable dépendante: I_AnnualemissionsCO2percapit

Omis pour cause de multicollinéarité parfaite : Restrictions_mouvements_interne

Controle_voyage_international Campagne_information_public dt_21 dt_22

	coefficient	éc. type	t de Student	p. critique	
const	27,7775	7,50646	3,7	0,0008	***
PIB	0,292539	0,1504	1,945	0,0603	*
Population	-2,07509	0,545333	-3,805	0,0006	***
Population urbaine	0,00772238	0,00572289	1,349	0,1864	
Industrie	-0,00900399	0,0139133	-0,6472	0,522	
Energies renouvelables	-7,89E-09	3,52E-09	-2,243	0,0317	**
Fermeture des écoles	0,693546	1,31352	0,528	0,601	
Fermeture des lieux de travail	-0,523893	0,842801	-0,6216	0,5385	
Annulation événement publics	0,191889	0,475194	0,4038	0,689	
Restriction des rassemblements	0,533091	0,809675	0,6584	0,5148	
Obligation de rester à la maison	-2,13775	2,43252	-0,8788	0,3859	
Fermeture des transports publics	-0,0589435	0,268801	-0,2193	0,8278	
dt_2	0,0283791	0,0381157	0,7446	0,4618	
dt_3	0,008465	0,0465953	0,1817	0,857	
dt_4	-0,082114	0,0895802	-0,9167	0,366	
dt_5	-0,108417	0,126449	-0,8574	0,3974	
dt_6	-0,124721	0,140002	-0,8908	0,3795	
dt_7	-0,17832	0,161351	-1,105	0,2771	
dt_8	-0,2743	0,202838	-1,352	0,1855	
dt_9	-0,313679	0,232045	-1,352	0,1856	
dt_10	-0,310182	0,214117	-1,449	0,1569	
dt_11	-0,21724	0,21812	-0,996	0,3265	
dt_12	-0,295585	0,236462	-1,25	0,2201	
dt_13	-0,261499	0,230034	-1,137	0,2638	
dt_14	-0,299245	0,244124	-1,226	0,229	
dt_15	-0,36036	0,250535	-1,438	0,1597	
dt_16	-0,234642	0,231165	-1,015	0,3175	
dt_17	-0,24232	0,241309	-1,004	0,3226	
dt_18	-0,248187	0,258729	-0,9593	0,3444	
dt_19	-0,263051	0,27716	-0,9491	0,3495	
dt_20	-0,220782	0,284759	-0,7753	0,4437	

Moyenne var. dép.	2,526625	Éc. type var. dép.	0,353053
Somme carrés résidus	0,066127	Éc. type régression	0,044764
R2 within	0,991838	R2 intra	0,960472
F(32, 33) - LSDV	125,3196	P. critique (F)	1,29E-26
Log de vraisemblance	134,2426	Critère d'Akaike	-202,4851
Critère de Schwarz	-130,2265	Hannan-Quinn	-173,9323
rho	0,560329	Durbin-Watson	0,636266

Test de significativité conjointe des régresseurs-

Statistique de test: $F(11, 33) = 21,5534$

avec p. critique = $P(F(11, 33) > 21,5534) = 5,66884e-12$

Test de différence des constantes individuelles-

Hypothèse nulle: Constante commune pour tous les individus

Statistique de test: $F(2, 33) = 16,5501$

avec p. critique = $P(F(2, 33) > 16,5501) = 1,05227e-05$

Test de Wald de significativité conjointe des indicatrices temporelles-

Hypothèse nulle: Pas d'effets temporels

Statistique du test asymptotique: $\text{Khi-deux}(19) = 28,8069$

avec p. critique = 0,0690837

11.7. Test 7 : matrice de Corrélation CO2 >< variables Covid-19

Coefficients de corrélation, utilisant les observations 1:01- 140:22

valeur critique à 5% (bilatérale) = 0,0353 pour n = 3080

	CO2	Fermeture des écoles	Fermeture lieux travail	Annulation events	Restriction rassemblements	Obligation rester à la maison	Fermeture transports publics	Restrictions mouvements internes	Restrictions voyages internationaux	Campagnes info public
CO2	1.0000	0.0361	0.0432	0.0331	0.0354	0.0211	0.0167	0.0336	0.0363	0.0205
Fermeture des écoles	-	1.0000	0.9403	0.9414	0.9137	0.8743	0.8442	0.8561	0.9241	0.9239
Fermeture lieux travail	-	-	1.0000	0.9625	0.9487	0.8930	0.8435	0.8591	0.9048	0.9349
Annulation events	-	-	-	1.0000	0.9735	0.8885	0.8174	0.8450	0.9321	0.9610
Restriction rassemblements	-	-	-	-	1.0000	0.8807	0.8104	0.8164	0.9222	0.9552
Obligation rester à la maison	-	-	-	-	-	1.0000	0.8332	0.8729	0.8285	0.8549
Fermeture transports publics	-	-	-	-	-	-	1.0000	0.8417	0.7755	0.7799
Restrictions mouvements internes	-	-	-	-	-	-	-	1.0000	0.7935	0.7922
Restrictions voyages internationaux	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0000	0.9584
Campagnes info public	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0000

11.1. Test 8 : matrice de Corrélation CO2 >< variables économiques

Coefficients de corrélation, utilisant les observations 1:01- 140:22

valeur critique à 5% (bilatérale) = 0,0353 pour n = 3080

	CO2	PIB	Population	Population urbaine	Industrialisation
CO2	1.0000	0.8530	-0.1384	0.7296	0.2975
PIB	-	1.0000	-0.2244	0.7633	0.0664
Population	-	-	1.0000	-0.0706	0.1707
Population urbaine	-	-	-	1.0000	0.0991
Industrialisation	-	-	-	-	1.0000