

Impact de l'introduction de la taxe CO2 en 2008 en Suisse sur les émissions de gaz à effet de serre

*Abdul Kadir Jeylani Bakari

abdul.jeylanibakari@unil.ch

*Felix Glemser

felix.glemser@unil.ch

*Karim Belghmi

karim.belghmi@unil.ch

*Kyle Fletcher

kyle.fletcher@unil.ch

*Stella Marinelli

stella.marinelli@unil.ch

*Faculté des Hautes Études Commerciales, Université de Lausanne, Suisse

7 juin 2024

Abstract

Cette étude examine l'impact de l'introduction de la taxe sur le CO2 en 2008 en Suisse sur les émissions de gaz à effet de serre. En utilisant une approche de différence en différences (DiD), nous comparons la Suisse avec l'Autriche pour identifier les changements significatifs des émissions de CO2 par habitant après la mise en œuvre de la politique. Nos résultats indiquent une réduction statistiquement significative des émissions de CO2 par habitant en Suisse suite à l'introduction de la taxe carbone. Cependant, les tests des tendances parallèles suggèrent des violations de cette hypothèse, soulignant les défis d'isoler l'impact de la politique en utilisant uniquement la méthode DiD. Pour pallier cette violation, nous avons utilisé la méthode de contrôle synthétique (SCM) pour construire un groupe de contrôle synthétique à partir de pays de comparaison potentiels, incluant les Pays-Bas, le Luxembourg et l'Autriche. L'analyse SCM soutient ces résultats mais met en lumière les limites de la création d'un contrôle synthétique de haute qualité en raison des faibles pondérations pour la Hollande et le Luxembourg. Nos conclusions suggèrent que bien que la taxe carbone ait été efficace pour réduire les émissions, il est essentiel de considérer les défis méthodologiques et les limitations des données dans les futures études.

Mots-clés : Taxe sur le carbone, Émissions de gaz à effet de serre, Différence en différences, Méthode de contrôle synthétique, Évaluation de l'impact des politiques, Suisse

1 Introduction

Le changement climatique représente un défi majeur et complexe de notre époque, avec des implications profondes pour les écosystèmes, la biodiversité et les sociétés humaines. Les activités humaines, principalement la combustion de combustibles fossiles et la déforestation, ont entraîné une augmentation des concentrations de gaz à effet de serre, provoquant une hausse des températures mondiales (IPCC, 2021)¹. Ce réchauffement a des conséquences significatives, exacerbant les conditions météorologiques extrêmes et menaçant les moyens de subsistance dans le monde entier (Masson-Delmotte et al., 2021)¹.

Récemment, la Suisse a été condamnée par la Cour européenne des droits de l'homme (CEDH) pour son inaction climatique, un verdict historique qui souligne l'importance de la responsabilité des états dans la lutte contre le changement climatique (CEDH, 2024)². Cette décision fait suite à une plainte déposée par le groupe KlimaSeniorinnen, qui a soutenu que le manque d'action climatique mettait en danger la vie des citoyens âgés, particulièrement vulnérables aux vagues de chaleur (Nature, 2024)³.

Cependant, il est crucial de reconnaître les efforts significatifs de la Suisse en matière de politiques climatiques. Depuis l'introduction de la taxe sur le CO₂ en 2008, la Suisse a mis en oeuvre plusieurs mesures pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. La taxe sur le CO₂, qui est l'une des plus élevées au monde, a été progressivement augmentée pour encourager la réduction de l'utilisation des combustibles fossiles et promouvoir des sources d'énergie plus durables (BAFU, 2024)⁴.

En 2021, la Suisse a adopté une révision majeure de sa Loi sur le CO₂, visant à réduire encore davantage les émissions de CO₂ d'ici 2030 et à atteindre la neutralité carbone d'ici 2050. Cette loi prévoit une combinaison d'incitations financières, d'investissements dans les technologies propres et de réglementations pour réduire les émissions dans tous les secteurs économiques (Conseil Fédéral, 2020; Conseil Fédéral, 2021; Swissinfo, 2023)⁵⁻⁷. De plus, depuis 2020, le système d'échange de quotas d'émission Suisse a été lié à celui de l'Union européenne, renforçant ainsi l'efficacité des mécanismes de réduction des émissions (Conseil Fédéral, 2020)⁵. Ces initiatives montrent que la Suisse n'est pas restée inactive face à la crise climatique. Au contraire, elle a pris des mesures ambitieuses et continues pour améliorer ses politiques environnementales.

Notre étude vise à évaluer l'impact de la taxe CO₂ introduite en 2008 sur les émissions de gaz à effet de serre en Suisse, en utilisant des approches économétriques robustes. Nous avons entrepris cette recherche pour comprendre l'efficacité des politiques de tarification du carbone et pour fournir des preuves empiriques sur leur capacité à réduire les émissions de gaz à effet de serre. En analysant les données avant et après l'implémentation de la taxe, nous cherchons à déterminer si cette mesure a contribué à une diminution significative des émissions. L'objectif est de soutenir l'élaboration de politiques climatiques fondées sur des preuves, d'informer les décideurs et d'encourager d'autres pays à adopter des mesures similaires.

Nous formulons trois hypothèses principales pour guider notre recherche. Premièrement, nous supposons que l'introduction de la taxe CO₂ en 2008 a entraîné une réduction significative des émissions de gaz à effet de

serre en Suisse. Deuxièmement, nous hypothétisons que la taxe CO₂ a conduit à des changements dans les comportements économiques, tels que la réduction de la consommation de combustibles fossiles et l'adoption de sources d'énergie plus durables. Enfin, nous anticipons que les effets de la taxe CO₂ sont plus prononcés dans certains secteurs économiques, tels que le transport et l'industrie, par rapport à d'autres.

Nos résultats montrent une réduction des émissions de gaz à effet de serre, mais il est important de noter que la causalité précise entre la taxe et cette réduction n'a pas pu être établie de manière robuste en raison des défis méthodologiques, notamment la violation de l'hypothèse des tendances parallèles. Ces conclusions doivent donc être interprétées avec prudence. En dépit de ces défis, notre recherche offre des insights précieux et propose des recommandations pratiques pour les futures politiques climatiques, en soulignant l'importance d'une évaluation rigoureuse et transparente des instruments de tarification du carbone. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour confirmer ces conclusions et mieux comprendre les mécanismes sous-jacents (IMF, 2023)⁸.

2 Contexte

Les politiques de taxation du carbone ont gagné en popularité en tant qu'outils essentiels pour lutter contre le changement climatique. Plusieurs études ont examiné l'efficacité de ces taxes dans divers contextes géographiques et économiques, fournissant des preuves empiriques de leurs impacts sur les émissions de gaz à effet de serre.

Notre étude se distingue par son approche rigoureuse de l'évaluation de l'impact de la taxe CO₂ introduite en 2008 en Suisse. Bien que nous n'ayons pas trouvé d'effet causal clair, nous avons utilisé des méthodes économétriques robustes pour analyser et interpréter les données de manière transparente. Cette approche nous a permis de mieux comprendre les dynamiques complexes entourant cette politique et de fournir des insights précieux pour les décideurs politiques et les chercheurs intéressés par les mécanismes de tarification du carbone. En reconnaissant et en abordant les limitations méthodologiques, notre étude contribue de manière significative à la littérature existante et propose des pistes d'amélioration pour les futures recherches dans ce domaine.

2.1 Littérature

La taxation du carbone est largement reconnue comme un instrument politique efficace pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. De nombreuses études empiriques ont examiné l'impact de ces taxes dans divers contextes, démontrant des effets variés en fonction des spécificités géographiques et économiques. Par exemple, une étude sur la Colombie-Britannique a montré que la mise en place d'une taxe carbone a entraîné une réduction des émissions de transport, bien que les réductions totales ne soient pas encore statistiquement significatives (Felix Pretis, 2022)⁹. En Europe, une analyse macroéconomique des taxes carbone a révélé une réduction cumulative des émissions de 4 à 6 % pour une taxe de 40 \$ par tonne de CO₂, sans impact négatif significatif sur la croissance

du PIB ou l'emploi (Metcalf, Gilbert E. and Stock, James H., 2020)¹⁰.

Les études ont également mis en lumière l'efficacité des réformes fiscales environnementales. Par exemple, une analyse utilisant la méthode de correspondance des scores de propension a démontré que l'adoption de la taxe carbone en Europe stimule significativement la réduction des émissions de CO₂, soulignant le rôle crucial des politiques fiscales dans l'amélioration de la qualité environnementale (Ghazouani, Xia, Ben Jebli, & Shahzad, 2020)¹¹. En Australie, l'introduction d'une taxe carbone a conduit à une réduction des émissions de gaz à effet de serre de 1,4 % dans la deuxième année, malgré une augmentation des coûts de l'électricité (Centre for Public Impact, 2012)¹². Aux États-Unis, une étude publiée dans *Climate Change Economics* a estimé qu'une taxe de 50 \$ par tonne de CO₂ pourrait réduire les émissions de gaz à effet de serre de 63 % d'ici 2050, à condition que la taxe augmente de 5 % par an (Fawcett, Mcfarland, Morris, Weyant, 2018)¹³. Finkelstein-Shapiro et Metcalf (2022)¹⁴ ont exploré les effets macroéconomiques de cette politique, démontrant qu'elle peut être conçue pour réduire les émissions sans nuire à la croissance économique.

D'autres études ont exploré les réponses comportementales aux taxes carbone. Par exemple, une étude publiée dans SSRN a révélé des changements notables dans les actions ou les habitudes des individus en réponse à l'introduction des taxes carbone (Grieder, Baerenbold, Schmitz, & Schubert, 2021)¹⁵. Le Journal of Environmental Economics and Management a également publié des recherches montrant l'efficacité des taxes sur le carbone dans divers contextes économiques et géographiques. Par exemple, une étude de Caron, Cohen, Brown, et Reilly (2018) a exploré les impacts d'une taxe nationale sur le CO₂ aux États-Unis et les options de réinvestissement des revenus. Cette étude a révélé que des réductions significatives des émissions de gaz à effet de serre peuvent être atteintes avec des coûts relativement faibles, tout en tenant compte des impacts sur le bien-être des ménages et la distribution des revenus (Caron et al., 2018).¹⁶ En ce qui concerne les pays nordiques, une étude de Bruvoll et Larsen (2002) a examiné les émissions de gaz à effet de serre en Norvège et a révélé que les taxes sur le carbone, bien que modestes dans leur effet direct, ont contribué à une réduction de 2% des émissions de CO₂, tandis que d'autres facteurs tels que la réduction de l'intensité énergétique et les changements dans le mix énergétique ont eu un impact plus significatif (Bruvoll & Larsen, 2002).¹⁷ Enfin, l'article intitulé "Pricing Carbon and the Social Cost of Carbon" par Martin Vrolijk et Misato Sato dans The World Bank Research Observer (2023) examine la relation entre la tarification du carbone et les émissions. L'étude trouve une corrélation significative entre les prix du carbone et la réduction des émissions, renforçant l'efficacité de la tarification du carbone comme outil de politique climatique (Vrolijk & Sato, 2023)¹⁸.

Notre étude s'inscrit dans cette riche littérature en apportant une évaluation rigoureuse de l'impact de la taxe CO₂ introduite en 2008 en Suisse, un pays souvent considéré comme un pionnier dans les politiques climatiques. Bien que nous n'ayons pas trouvé d'effet causal clair sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre, nos analyses ont révélé des défis méthodologiques significatifs, tels que la violation de l'hypothèse des tendances parallèles. Ces résultats soulignent la complexité de l'évaluation des politiques climatiques et la nécessité de méthodes encore plus robustes pour isoler les effets causaux. En réponse à ces défis, nous proposons plusieurs améliorations méthodologiques, notamment l'utilisation de modèles alternatifs et de données supplémentaires,

pour renforcer la validité des conclusions futures. Nos résultats fournissent également des recommandations pratiques pour les décideurs politiques et les chercheurs. Ils mettent en évidence l'importance d'une évaluation rigoureuse et transparente des instruments de tarification du carbone et encouragent la poursuite de recherches approfondies pour mieux comprendre les dynamiques sous-jacentes des politiques climatiques. Bien que cette étude n'ait pas pu établir une relation causale claire, elle contribue de manière significative à la littérature existante en identifiant les défis méthodologiques et en proposant des solutions pour les surmonter. Ces insights sont précieux pour l'élaboration de futures politiques climatiques et pour l'amélioration continue des méthodes de recherche dans ce domaine.

3 Données

Cette section détaille la collecte, la sélection et l'analyse des données utilisées pour examiner l'impact de l'introduction de la taxe CO₂ en 2008 en Suisse sur les émissions de gaz à effet de serre. Pour renforcer la robustesse de notre analyse, nous avons utilisé deux approches complémentaires : l'analyse de différence en différences (DiD) avec l'Autriche comme pays de contrôle, et la méthode de contrôle synthétique (SCM) l'Autriche, le Luxembourg et la Hollande.

3.1 Données sélectionnées

Les données ont été collectées sur le site de l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) ainsi que sur le site Our World in Data, des sources fiables et reconnues pour les statistiques économiques, énergétiques et environnementales.

Variables Clés

Les variables sélectionnées pour l'analyse sont cruciales pour comprendre l'impact de la taxe CO₂ sur les émissions de gaz à effet de serre. Ces variables ont été choisies en raison de leur pertinence dans les études environnementales et économiques. Elles comprennent :

Émissions de CO₂ par habitant en tonnes par habitant, (OCDE)¹⁹ :

Mesure des émissions de CO₂ par individu, un indicateur clé de la performance environnementale.

Population en millions, (OCDE)²⁰ :

Mesure essentielle pour comparer l'impact démographique sur les émissions de CO₂.

Transport passager par rail (passager-kilomètres, millions) (OCDE)²¹ :

Indicateur de l'activité de transport, directement lié aux émissions de CO₂.

Nombre de véhicules par milliers d'habitants, (OCDE)²² :

Inclut les véhicules privés et commerciaux, une source majeure d'émissions de CO₂.

Variation du PIB par habitant en %, (OCDE)²³ :

Indicateur économique clé reflétant la croissance et la prospérité économique, influençant potentiellement les émissions de CO₂.

Consommation énergétique en MWh par habitant, (Our World in Data)²⁴ :

Indicateur de la dépendance énergétique du pays, bien que cette variable ait été exclue de l'analyse finale en raison de données limitées.

En plus de déterminer une période d'observation adéquate il est essentiel de choisir un pays de contrôle approprié pour notre analyse DiD afin de garantir la robustesse et la validité des résultats obtenus.

3.1.1 Période d'observation

Nous avons choisi une période d'observation allant de 1994 à 2018 afin de maximiser l'étendue des données disponibles avant et après l'introduction de la taxe CO₂. La période post-traitement a été limitée à 2018 pour éviter les perturbations causées par la pandémie de COVID-19, qui a eu un impact significatif sur les émissions de CO₂.

Justification de l'exclusion des données post-2018

L'exclusion des données après 2018 est basée sur le fait que la pandémie de COVID-19 a créé des perturbations majeures dans les émissions de CO₂ en raison de changements drastiques dans les comportements économiques et sociaux, comme les confinements et la réduction significative des activités industrielles et de transport. Intégrer ces données pourrait introduire des biais importants et fausser l'analyse de l'impact de la taxe CO₂.

3.2 Sélection du pays de contrôle

Afin de sélectionner le meilleur pays de contrôle pour l'analyse DiD (Différence en Différences), nous avons évalué plusieurs pays candidats en utilisant une méthode visuelle basée sur les ajustements de courbes et la comparaison des écarts avec la Suisse. Les pays candidats initialement évalués étaient (entre parenthèse la date d'introduction de la taxe CO₂ du pays): l'Autriche (2022), la France (2014), l'Allemagne (2021), l'Espagne (2014), l'Irlande (2010), le Portugal (2015), le Luxembourg (2021), et les Pays-Bas (2021).

Procédure d'élimination :

1. Comparaison des variables explicatives : nous avons comparé visuellement les variables explicatives de chaque pays candidat avec celles de la Suisse en utilisant des graphiques d'ajustement de courbes. Les pays dont les variables différaient significativement ont été éliminés.
2. Dates d'introduction de la taxe CO₂ : nous avons considéré un avantage pour les pays avec les dates les plus distantes pour maximiser l'étendue des observations post-traitement.

Visualisation de la comparaison :

Les graphiques ci-dessous montrent la comparaison des variables explicatives entre la Suisse et les pays candidats. Chaque graphique présente les tendances des variables clés (population, PIB par habitant, transport passager par rail, nombre de véhicules) pour chaque pays candidat par rapport à la Suisse. Les éliminations des pays candidats sont également indiquées à chaque étape.

Figure 1 : Le graphique ci-dessous compare les variables "transports par rail" entre la Suisse et les pays candidats. Les écarts significatifs observés pour certains pays ont conduit à leur élimination à cette étape.

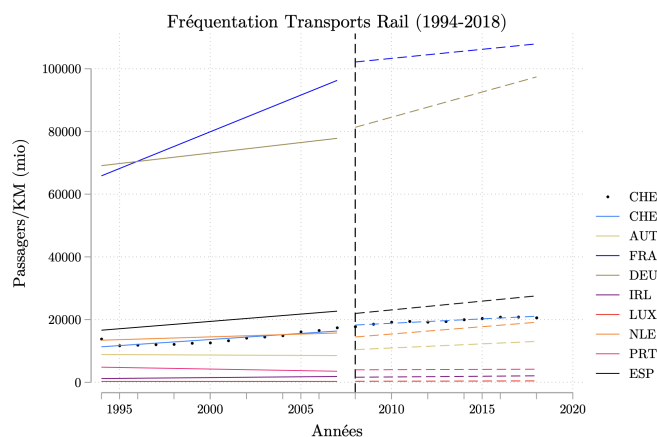


Figure 1

Élimination : France et Allemagne (écart significatif dans le transport passager par rail par rapport à la Suisse)

Figure 2 : Le graphique ci-dessous compare les variables "population" entre la Suisse et les pays candidats. Les écarts significatifs observés pour certains pays ont conduit à leur élimination à cette étape. Comparaison de la population

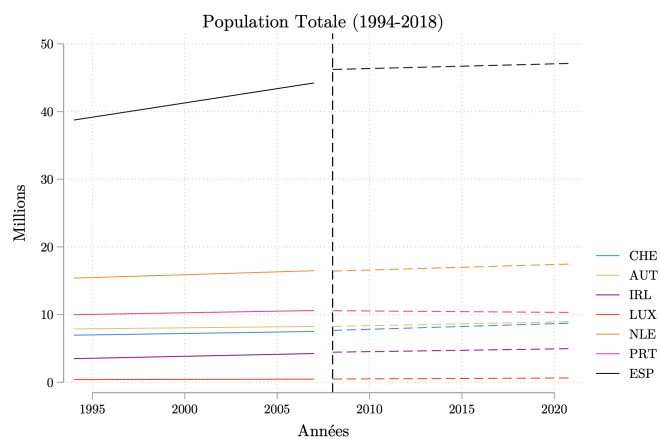


Figure 2

Élimination : Espagne (écart significatif de la population par rapport à la Suisse).

Figure 3 : Le graphique ci-dessous compare les variables "PIB par Habitant" entre la Suisse et les pays candidats. Les écarts significatifs observés pour certains pays ont conduit à leur élimination à cette étape.

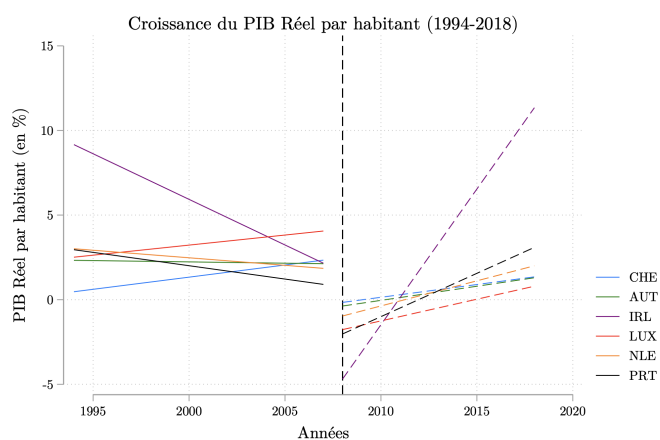


Figure 3

Élimination : Irlande (écart significatif dans le PIB par habitant par rapport à la Suisse).

Figure 4 : Le graphique ci-dessous compare les variables "consommation d'électricité" entre la Suisse et les pays candidats. Les écarts significatifs observés pour certains pays ont conduit à leur élimination à cette étape.

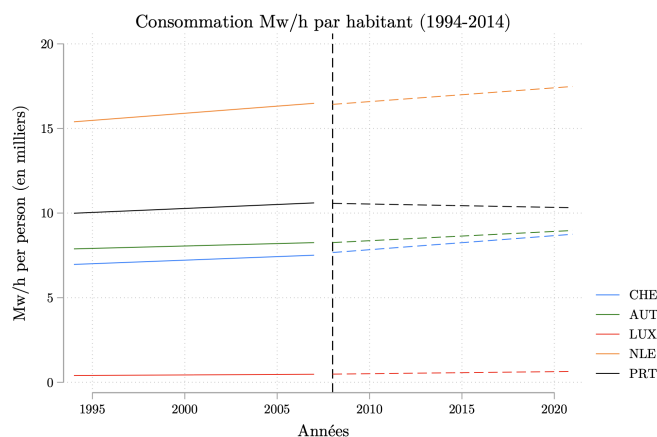


Figure 4

Élimination : Hollande, Luxembourg et Portugal (écarts significatifs dans la consommation d'électricité par habitant par rapport à la Suisse).

Figure 5 : Le graphique ci-dessous compare les variables "véhicules" entre la Suisse et les pays candidats. Les écarts significatifs observés pour certains pays ont conduit à leur élimination à cette étape.

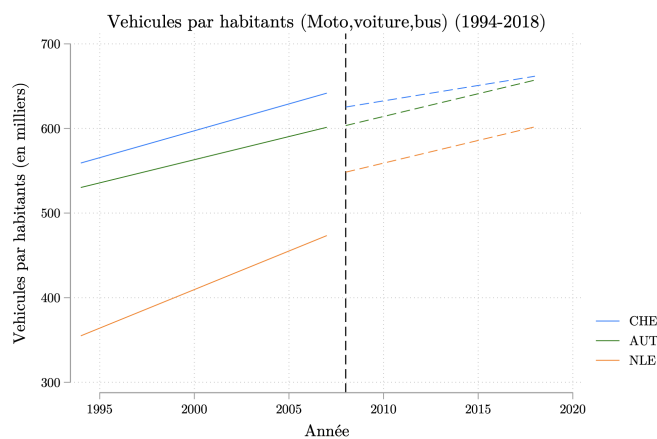


Figure 5

Élimination : Hollande (second écart significatif, dû au nombre de véhicules par rapport à la Suisse).

Les graphiques montrent que l'Autriche présente les caractéristiques les plus similaires à celles de la Suisse avant l'introduction de la taxe, ce qui justifie sa sélection comme pays de contrôle optimal.

3.3 Tendances parallèles

L'analyse des tendances parallèles est essentielle pour vérifier que les émissions de CO₂ en Suisse et en Autriche évoluent de manière similaire avant l'introduction de la taxe.

Pour vérifier la validité de notre choix de l'Autriche comme pays de contrôle, dans un premier temps nous avons procédé à une analyse visuelle des tendances parallèles en comparant les droites de régression des émissions de CO₂ par habitant avant et après l'introduction de la taxe CO₂ en Suisse et en Autriche. Cette analyse, basée sur des ajustements de courbes réalisés avec Stata, inclut des régressions séparées pour les périodes pré- et post-introduction de la taxe.

Les graphiques ci-dessous illustrent les tendances parallèles des émissions de CO₂ par habitant pour la Suisse et l'Autriche. Chaque graphique montre les régressions des émissions de CO₂ avant et après l'introduction de la taxe CO₂ (2008) en Suisse, en fonction du temps :

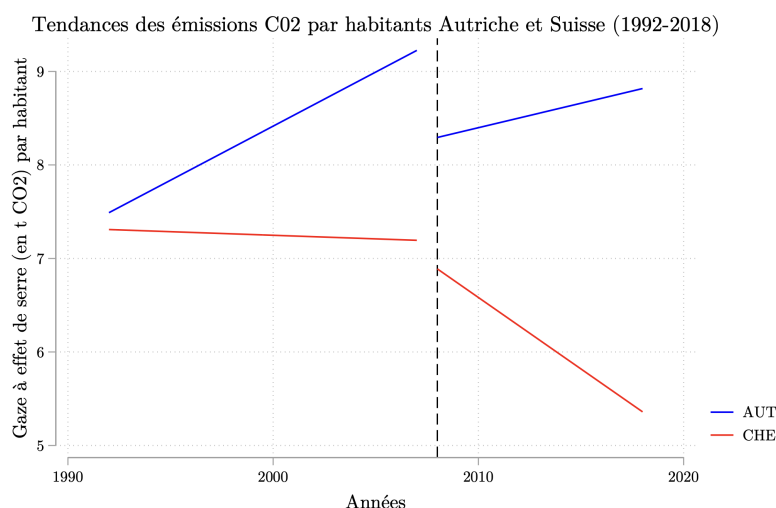


Figure 6

Cette analyse a révélé que les tendances des émissions de CO₂ en Suisse et en Autriche n'étaient pas parfaitement parallèles avant l'introduction de la taxe, mais ont divergé après, suggérant l'indice d'un effet causal potentiel de la taxe CO₂ en Suisse. Ces résultats renforcent la validité de notre choix de l'Autriche comme pays de contrôle pour cette étude.

3.4 Statistiques descriptives

Les statistiques descriptives des variables clés pour la Suisse et l'Autriche sont présentées ci-dessous. Ces statistiques incluent les moyennes, les écarts-types, les valeurs minimales et maximales, ainsi que les mesures de skewness et kurtosis.

	count	mean	sd	min	max	skewness	kurtosis
co2_par_habitant	24	6.726318	.7065699	5.362008	8.226878	-.3268356	2.652837
population	24	7624234	498540.5	6993795	8514327	.3961959	1.786073
pib_par_habitant	24	1.016208	1.548065	-3.524	3.533	-.7269177	4.39657
transport_passager	24	16469.35	3375.026	11713	20864.5	-.1273545	1.418265
vehicules	24	619.1407	31.21581	558.8837	660.2146	-.620953	2.209551
<i>N</i>	24						

Table 1: Statistiques descriptives pour la Suisse (1994-2018)

	count	mean	sd	min	max	skewness	kurtosis
co2_par_habitant	24	8.473309	.7676608	6.849714	9.848569	-.0141597	2.426966
population	24	8278559	284703.3	7936118	8837707	.4853689	2.121993
pib_par_habitant	24	1.423792	1.649941	-4.016	3.468	-1.418378	5.937025
transport_passager	24	10102.89	1720.486	7971	13204.7	.2656032	1.719964
vehicules	24	594.8536	41.32612	505.4989	656.0979	-.4380238	2.406504
<i>N</i>	24						

Table 2: Statistiques descriptives pour l'Autriche (1994-2018)

CO2 par habitant :

Les moyennes des émissions de CO2 par habitant sont plus élevées en Autriche (8.47) qu'en Suisse (6.73). Cette différence suggère que l'Autriche pourrait avoir des politiques environnementales moins strictes ou des sources d'énergie plus polluantes, ce qui pourrait influencer l'impact observé de la taxe CO2 en Suisse. Comprendre ces différences est crucial pour interpréter correctement les effets de la taxe dans le contexte de politiques et de structures énergétiques différentes.

Population :

La population des deux pays est relativement similaire, bien que l'Autriche ait une population légèrement plus élevée. Cette similitude démographique renforce la comparaison entre les deux pays pour l'analyse des émissions de CO2.

PIB par habitant :

Les PIB moyens par habitant indiquent une certaine prospérité économique dans les deux pays, avec des valeurs similaires mais une plus grande variabilité en Autriche. Cela montre que les deux pays ont des contextes économiques comparables, ce qui est favorable pour notre étude.

Transport passager :

La Suisse a une moyenne plus élevée de passagers par rail (16,469.35) comparée à l'Autriche (10,102.89), ce qui pourrait indiquer une infrastructure ferroviaire plus développée ou une plus grande utilisation des transports en commun en Suisse. Cette différence est importante à considérer dans notre analyse des émissions de CO2.

Véhicules :

Le nombre moyen de véhicules par habitant est légèrement supérieur en Suisse (619.14) qu'en Autriche (594.85). Cela suggère des différences dans l'utilisation des véhicules privés, ce qui peut influencer les émissions de CO2.

Skewness et kurtosis :

Les valeurs de skewness et kurtosis montrent que les distributions des variables sont relativement normales, ce qui est favorable pour les analyses statistiques ultérieures.

Les statistiques descriptives entre les tableaux^[1,2] montrent des différences mais aussi des similitudes importantes entre la Suisse et l’Autriche, renforçant la validité de notre choix de l’Autriche comme pays de contrôle pour étudier l’impact de la taxe CO2 en Suisse. Ces observations fournissent un contexte solide pour l’analyse économétrique qui suivra.

3.4.1 Groupe de contrôle synthétique

En complément de l’analyse DiD, nous avons employé la méthode de contrôle synthétique (SCM) pour créer un groupe de contrôle synthétique, incluant principalement le Luxembourg et la Hollande. Le groupe de contrôle synthétique a été utilisé pour pallier les limitations de l’analyse DiD en offrant un point de comparaison composite plus robuste.

Sélection et pondération des pays dans le groupe synthétique : Le Luxembourg et la Hollande ont été choisis pour leurs similitudes avec la Suisse sur certaines variables clés. Les pondérations des pays ont été déterminées pour maximiser la similarité entre le groupe synthétique et la Suisse avant l’introduction de la taxe. Le Portugal a été exclu en raison de données manquantes pour les véhicules, ce qui aurait pu introduire des biais dans l’analyse.

	count	mean	sd	min	max	skewness	kurtosis
co2_par_habitant	24	21.78969	3.369169	16.46988	29.79294	.2476584	2.750566
population	24	487229.5	63438.43	402921	607950	.4468255	1.969461
pib_par_habitant	24	1.579542	2.975673	-5.034	6.962	.173373	2.749789
transport_passager	24	338.5	56.1837	262	442	.4765047	1.997054
vehicules	24	502.8899	68.7504	384.8425	598.8957	-.3951171	1.739076
N	24						

Table 3: Statistiques descriptives pour le Luxembourg (1994-2018)

	count	mean	sd	min	max	skewness	kurtosis
co2_par_habitant	24	13.32603	1.455271	11.08089	15.94756	.2042466	1.893743
population	24	1.63e+07	553078.9	1.54e+07	1.72e+07	-.1708392	1.91928
pib_par_habitant	24	1.592958	1.94239	-4.107	4.435	-1.043792	4.321272
transport_passager	24	15624.08	1959.168	12800	22600	1.762031	7.920342
vehicules	24	487.2914	89.23535	363.5235	604.0096	-.0539008	1.271187
N	24						

Table 4: Statistiques descriptives pour la Hollande (1994-2018)

Les statistiques descriptives entre les tableaux^[1,3,4] révèlent des différences et des similitudes entre la Suisse, l’Autriche et la Hollande. L’Autriche présente des niveaux de CO2 par habitant plus élevés, tandis que la Hollande

a des niveaux intermédiaires. Les populations et les PIB par habitant montrent des différences, ce qui est crucial pour comprendre les dynamiques économiques et démographiques qui peuvent influencer les émissions de CO2. Le transport passager par rail est beaucoup plus élevé en Suisse et en Hollande, ce qui peut jouer un rôle dans les différences d'émissions de CO2 observées. Ces observations fournissent un contexte solide pour l'analyse économétrique qui suivra, justifiant l'utilisation de l'Autriche, la Hollande et du Luxembourg dans la construction du groupe de contrôle synthétique, malgré les différences observées. Ces pays ont été sélectionnés comme les meilleurs candidats disponibles - en fonction des données disponibles - pour créer un groupe de contrôle robuste.

4 Stratégie empirique

Cette section décrit la méthodologie employée pour évaluer l'impact de l'introduction de la taxe CO2 en 2008 en Suisse sur les émissions de gaz à effet de serre. Nous utilisons une approche combinée pour garantir la robustesse de nos résultats, comprenant une analyse de différence en différences (DiD) avec l'Autriche comme pays de contrôle, ainsi qu'une méthode de contrôle synthétique (SCM) incluant l'Autriche, le Luxembourg et la Hollande. La sélection de ces pays, justifiée dans la section précédente, permet de créer des groupes de comparaison fiables malgré les différences observées. Dans cette section, nous détaillerons les modèles économétriques utilisés, les hypothèses sous-jacentes, ainsi que les techniques de validation des résultats.

4.1 Difference-in-Difference

La DiD compare les variations des émissions de CO2 par habitant en Suisse avant et après la taxe avec celles observées en Autriche sur la même période. Le modèle DiD est spécifié comme suit :

$$y_{it}^{CO2pc} = \alpha + \tau \cdot (D_{it} \times T_t) + \beta \cdot X_{it}^{GDP} + \gamma \cdot P_{it}^{Pop} + \theta \cdot V_{it}^{Vh} + \sigma \cdot T_{it}^{Trans} + \mu_i + \delta_t + \epsilon_{it}$$

où :

y_{it}^{CO2pc} est la variable dépendante représentant les émissions de CO2 par habitant pour le pays i à l'année t .

α est l'intercept.

τ est le coefficient d'intérêt associé à l'interaction entre D_{it} (variable indiquant si le pays i a introduit la taxe CO2) et T_t (variable indiquant la période post-introduction de la taxe).

β est le coefficient associé au PIB par habitant X_{it}^{GDP} .

γ est le coefficient associé à la population P_{it}^{Pop} .

θ est le coefficient associé au nombre de véhicules V_{it}^{Vh} .

σ est le coefficient associé au transport passager par rail T_{it}^{Trans} .

μ_i représente les effets fixes pour chaque pays i .

δ_t représente les effets fixes pour chaque année t .

ϵ_{it} est le terme d'erreur.

4.1.1 Hypothèses du modèle DiD

Hypothèse des tendances parallèles :

Avant l'introduction de la taxe CO2, les tendances des émissions de CO2 par habitant en Suisse (traitee) et en Autriche (groupe de contrôle) sont parallèles, assurant que sans traitement, les émissions auraient évolué de manière similaire.

Absence d'interférence entre les unités :

La taxe CO2 en Suisse n'affecte pas directement les émissions de CO2 des autres pays de l'analyse, évitant toute contamination entre les groupes.

Stabilité des effets des variables de contrôle :

Les coefficients des variables de contrôle (\mathbf{X}_{it}^{GDP} , \mathbf{P}_{it}^{Pop} , \mathbf{V}_{it}^{Vh} , \mathbf{T}_{it}^{Trans}) sont constants sur la période étudiée, signifiant que leur impact sur les émissions de CO2 est stable.

Exogénéité des variables explicatives :

Les variables explicatives ne sont pas corrélées avec le terme d'erreur ϵ_{it} , garantissant que les variables de contrôle ne capturent pas des variations non observées.

4.1.2 Modèle des tendances linéaires

Pour tester les tendances parallèles, nous utilisons le modèle disponible sur Stata²⁵ qui ajoute des termes d'interaction :

$$y_{ist} = DID_{ist} + w_i d_{t,0} t \zeta_1 + w_i d_{t,1} t \zeta_2 + \epsilon_{ist}$$

où $d_{t,0}$ et $d_{t,1}$ indiquent les périodes pré- et post-traitement, et w_i indique le groupe traité. Le test de Wald évalue si $\zeta_1 = 0$, vérifiant les tendances parallèles en pré-traitement.

L'hypothèse nulle (H_0) est que les tendances sont parallèles. Le rejet de H_0 indique une violation des tendances parallèles, ce qui remet en question la validité des résultats DiD. Nos résultats montrent une divergence significative, indiquant une violation des tendances parallèles.

4.2 Méthode de contrôle synthétique (SCM)

La SCM est utilisée pour créer un groupe de contrôle synthétique correspondant aux caractéristiques de la Suisse avant l'introduction de la taxe CO2. Cette méthode, plus robuste que les approches traditionnelles, combine les données de l'Autriche, du Luxembourg et de la Hollande pour minimiser les différences avec la Suisse sur les variables de contrôle. En assignant des pondérations optimales aux pays du groupe de contrôle synthétique, la SCM cherche à créer une combinaison linéaire des pays de contrôle qui imite au mieux les caractéristiques de la Suisse avant la mise en œuvre de la taxe. Les pondérations sont déterminées de manière à ce que la somme des

pondérations soit égale à un, et qu'aucune pondération ne soit négative, assurant ainsi une représentation fidèle et équilibrée de la Suisse.

Le modèle SCM est spécifié comme suit :

$$\min_{\omega} \left(\mathbf{X}_{\text{CHE}} - [\mathbf{X}_{\text{AUT}}, \mathbf{X}_{\text{LUX}}, \mathbf{X}_{\text{HOL}}] \begin{bmatrix} \omega_{\text{AUT}} \\ \omega_{\text{LUX}} \\ \omega_{\text{HOL}} \end{bmatrix} \right)^T \mathbf{V} \left(\mathbf{X}_{\text{CHE}} - [\mathbf{X}_{\text{AUT}}, \mathbf{X}_{\text{LUX}}, \mathbf{X}_{\text{HOL}}] \begin{bmatrix} \omega_{\text{AUT}} \\ \omega_{\text{LUX}} \\ \omega_{\text{HOL}} \end{bmatrix} \right) \quad \text{s.c.} \begin{cases} \sum \omega_k = 1 \\ \omega_k \geq 0 \end{cases}$$

où :

\mathbf{X}_{CHE} est le vecteur des variables de contrôle pour la Suisse.

$\mathbf{X}_{\text{AUT}}, \mathbf{X}_{\text{LUX}}, \mathbf{X}_{\text{HOL}}$ sont les vecteurs des variables de contrôle pour l'Autriche, le Luxembourg et la Hollande, respectivement.

$\omega = \begin{bmatrix} \omega_{\text{AUT}} \\ \omega_{\text{LUX}} \\ \omega_{\text{HOL}} \end{bmatrix}$ sont les pondérations des pays dans le groupe de contrôle synthétique.

\mathbf{V} est une matrice de pondération semi-définie positive.

L'estimation des émissions de CO2 synthétiques pour la Suisse est donnée par :

$$\hat{y}_{\text{CHE},t}^{\text{Synth}} = \sum_{k \in \{\text{AUT}, \text{LUX}, \text{HOL}\}} \omega_k \cdot y_{k,t}$$

où $y_{k,t}$ sont les émissions de CO2 pour le pays k à l'année t .

La mesure de l'effet de la taxe CO2 est la différence entre les émissions de CO2 observées en Suisse et celles estimées pour le groupe de contrôle synthétique :

$$\Delta y_{\text{CHE},t} = y_{\text{CHE},t} - \hat{y}_{\text{CHE},t}^{\text{Synth}}$$

La racine carrée de l'erreur quadratique moyenne prédite (RMSPE) est une mesure de l'ajustement du modèle, utilisée pour évaluer la qualité de la correspondance entre le groupe traité et le groupe de contrôle synthétique. Elle est calculée comme suit :

$$\text{RMSPE} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\hat{y}_{\text{synthetic},t} - y_{\text{treated},t})^2}$$

où $\hat{y}_{\text{synthetic},t}$ est la valeur prédite pour le groupe de contrôle synthétique, et $y_{\text{treated},t}$ est la valeur observée pour le groupe traité.

Cette méthode permet de créer un groupe de contrôle synthétique qui reflète le plus fidèlement possible ce qu'auraient été les émissions de CO2 en Suisse en l'absence de la taxe, et de mesurer précisément l'effet de la taxe.

4.2.1 Hypothèses du modèle SCM

Pondération convexe :

Les pondérations doivent être non négatives et leur somme doit être égale à un.

Similarité pré-traitement :

Les unités de contrôle doivent avoir des caractéristiques et des tendances similaires à celles de l'unité traitée avant l'intervention.

Stabilité des effets des covariables :

Les relations entre les covariables et l'issue d'intérêt doivent rester stables au fil du temps.

Exclusion de perturbations Importantes :

Aucun autre événement majeur ne doit influencer les variables d'intérêt pendant la période d'étude.

Indépendance conditionnelle :

Conditionnellement aux covariables, les résultats de l'unité traitée et des unités de contrôle sont indépendants.

5 Résultats

Cette section présente les résultats de notre analyse empirique visant à évaluer l'impact de l'introduction de la taxe CO2 en Suisse en 2008 sur les émissions de gaz à effet de serre. Nous avons utilisé deux approches complémentaires pour garantir la robustesse de nos conclusions : la méthode de différence en différences (DiD) et la méthode de contrôle synthétique (SCM). Les résultats obtenus à partir de ces deux méthodes sont discutés en détail dans les sous-sections suivantes.

5.1 Difference-In-Differences (DiD)

Nous avons effectué une analyse de différence en différences (DiD) pour estimer l'impact causal de l'introduction de la taxe CO2 en Suisse en 2008 sur les émissions de CO2 par habitant. L'analyse a été réalisée à l'aide du logiciel Stata. Les résultats montrent un effet significatif de la taxe CO2 sur les émissions. En complément, nous avons également effectué un test des tendances parallèles pour vérifier la validité de notre approche. Ce test a révélé une divergence significative, indiquant une violation de l'hypothèse des tendances parallèles dans notre analyse.

5.1.1 Résultats

VARIABLES	(1)	(2)
	ATET	Controls
1995.year		-0.457 (0.615)
1996.year		-0.293 (0.121)
1997.year		-0.537 (0.552)
1998.year		-0.207 (0.548)
1999.year		-0.391 (0.809)
2000.year		0.458 (0.917)
2001.year		-0.597 (1.465)
2002.year		0.242 (0.514)
2003.year		0.471 (0.706)
2005.year		0.290 (0.406)
2006.year		0.705 (0.954)
2007.year		0.637 (1.114)
2008.year		0.782 (0.425)
2009.year		0.423 (0.336)
2010.year		0.0743 (1.107)
2011.year		0.0112 (0.667)
2012.year		0.355* (0.0290)
2013.year		0.391 (0.165)
2014.year		-0.114 (0.370)
2015.year		-0.139 (0.103)
2016.year		-0.177 (0.0880)
2017.year		0.0754 (0.649)
2018.year		0.257 (1.129)
r1vs0.interaction	-1.263*** (1.21e-08)	
Constant		7.795*** (0.103)
Observations	48	48

Robust standard errors in parentheses
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Table 5

Les résultats montrent un effet significatif de la taxe CO₂ sur les émissions, comme le coefficient de l'interaction entre la variable indiquant la période post-intervention et la variable indiquant l'introduction de la taxe est négatif et statistiquement significatif (-1.263 tonnes CO₂ par habitant). Cela suggère que la taxe a eu un effet réducteur sur les émissions de CO₂ en Suisse. Cependant, pour établir une relation causale robuste, il est essentiel de vérifier l'hypothèse des tendances parallèles (PT).

5.1.2 Test sur les tendances parallèles

Pour évaluer la validité de notre analyse de différence en différences (DiD), nous avons effectué un test des tendances parallèles. Les graphiques sur la figure 7 et la figure 8 ci-après présentent visuellement les tendances des émissions de CO₂ par habitant pour la Suisse et l'Autriche avant l'introduction de la taxe CO₂ en 2008. Ces graphiques des moyennes observées et des tendances linéaires sont complémentaires pour l'analyse et fournissent une évaluation visuelle cruciale de l'hypothèse des tendances parallèles.

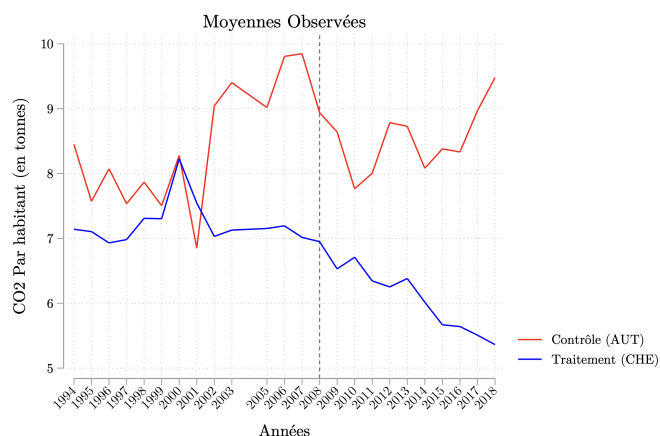


Figure 7

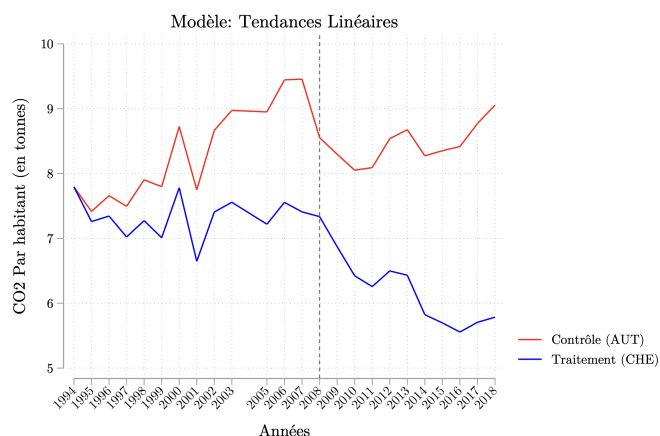


Figure 8

En plus du graphique, nous présentons le tableau^[6] ci-après contenant les résultats du test statistique des tendances parallèles. Les résultats montrent que les tendances des émissions de CO₂ en Suisse et en Autriche ne sont pas parfaitement parallèles pendant la période pré-traitement. Cette absence de parallélisme est mise en évidence par un rejet significatif de l'hypothèse nulle, comme le montre une p-value de 0.000034506402586, indiquant une violation significative de l'hypothèse des tendances parallèles^[4.1.1].

N	F-statistic	df(m)	df(r)	p-value
48	340377524.3623716	.	1	.000034506402586

Table 6: Résultats du test des tendances parallèles

Ces résultats suggèrent que l'analyse DiD ne peut pas fournir une conclusion causale robuste sans vérifier l'hypothèse des tendances parallèles. Par conséquent, des méthodes complémentaires, comme la méthode de contrôle synthétique (SCM), sont nécessaires pour fournir une évaluation plus fiable de l'impact de la taxe CO2 en Suisse.

5.2 Résultats de la méthode de contrôle synthétique (SCM)

Dans cette section, nous présentons les résultats de notre analyse utilisant la méthode de contrôle synthétique (SCM)^[4.2]. Cette méthode permet de créer un groupe de contrôle synthétique qui correspond aux caractéristiques de la Suisse avant l'introduction de la taxe CO2 en 2008. Pour notre analyse, nous avons sélectionné le Luxembourg et la Hollande comme pays de contrôle pour constituer ce groupe synthétique en raison de leurs similitudes avec la Suisse sur des variables clés.

5.2.1 Résultats

Nous présentons sur le graphique de la figure 9 les moyennes observées qui inclut le pays contrefactuel constitué des pondérations de l'Autriche, du Luxembourg et de la Hollande, ainsi que les résultats de ces pondérations. En effet, le graphique de la figure 9 des moyennes observées est très similaire au graphique de la figure 7 observé lors de la DID avec seulement l'Autriche comme pays de contrôle, compte tenu de la faible contribution de la Hollande et de la contribution nulle du Luxembourg.

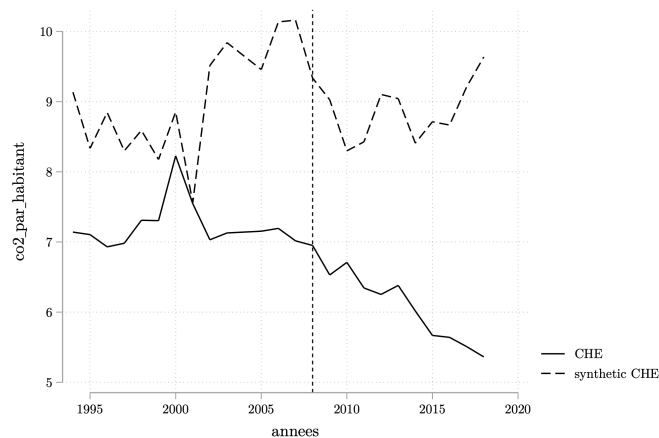


Figure 9

Les pondérations allouées dans la table 7 montrent que l’Autriche a la plus grande contribution (90.2%), tandis que le Luxembourg n’a aucune contribution (0.0%) et la Hollande une contribution minimale (9.8%).

	_Co_Number	_W_Weight
AUT	1	.902
LUX	3	0
NLE	4	.098

Table 7

La table 8 montre un RMSPE de 1.981583 tonnes de CO2 par habitant, indiquant une erreur de prédiction considérable et suggérant que l’ajustement du modèle synthétique présente des écarts significatifs par rapport aux observations réelles.

	RMSPE
RMSPE	1.981583

Table 8

Au vu des pondérations allouées (90.2 % pour l’Autriche, 0.0 % pour le Luxembourg, et 9.8 % pour la Hollande) et d’un RMSPE^[4.2] de 1.981583^[8] tonnes de CO2 par habitant, nous nous reposons sur le test initial des tendances parallèles qui a montré une violation de celles-ci. Bien que le résultat du SCM montre un effet négatif sur les émissions de CO2 (puisque le SCM est calculé comme la différence entre les émissions synthétiques et les émissions observées, $y_{\text{synth, che}} - y_{\text{che}}$)^[4.2], ce résultat suggère un impact négatif de la taxe CO2 très proche du résultat de la DiD. Cependant, en raison de la violation des tendances parallèles et des limitations méthodologiques associées, nous nous trouvons dans l’impossibilité de conclure à un effet causal robuste de la taxe CO2 sur les émissions de gaz à effet de serre en Suisse.

5.3 Interprétation des résultats

Les résultats indiquent une réduction significative des émissions de CO2 suite à l’introduction de la taxe CO2. Cependant, la violation des tendances parallèles dans l’analyse DiD et la forte dépendance à l’Autriche dans la SCM remettent en question la robustesse de ces conclusions. Bien que la taxe CO2 semble avoir un impact positif sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre, les limitations méthodologiques observées suggèrent que ces résultats ne sont pas robustes. Il est donc crucial de continuer à affiner les méthodes d’évaluation pour obtenir des conclusions plus fiables.

6 Conclusion

Cette étude examine l'impact de l'introduction de la taxe CO₂ en 2008 en Suisse sur les émissions de gaz à effet de serre. En utilisant une approche de différence en différences (DiD) et la méthode de contrôle synthétique (SCM), nous avons constaté une réduction significative des émissions de CO₂ par habitant en Suisse. Cependant, les défis méthodologiques, tels que la violation de l'hypothèse des tendances parallèles dans l'analyse DiD, limitent la robustesse et la possibilité d'émettre une conclusion causale.

Les pondérations allouées montrent que l'Autriche contribue à 90,2 % dans le groupe de contrôle synthétique, tandis que le Luxembourg et la Hollande contribuent respectivement à 0 % et 9,8 %. Cette distribution des pondérations indique que l'Autriche est le principal pays de référence, reflétant des similitudes significatives entre les variables clés de l'Autriche et de la Suisse. Cependant, la faible contribution de la Hollande et l'absence de contribution du Luxembourg suggèrent que ces pays n'apportent pas suffisamment d'informations supplémentaires, limitant ainsi la robustesse du groupe de contrôle synthétique. En raison de la forte pondération de l'Autriche et des limitations méthodologiques observées, nous nous trouvons dans l'impossibilité de conclure à un effet causal robuste de la taxe CO₂ sur les émissions de gaz à effet de serre en Suisse.

Notre analyse présente plusieurs limitations. Premièrement, la violation de l'hypothèse des tendances parallèles dans l'analyse DiD remet en question la robustesse des conclusions causales. Deuxièmement, la méthode de contrôle synthétique (SCM) présente des limitations, notamment en raison de la forte pondération de l'Autriche dans le groupe de contrôle, ce qui peut affecter la robustesse des conclusions. Troisièmement, la pandémie de COVID-19 a perturbé les émissions de CO₂ après 2018, nous obligeant à exclure les données post-2018, ce qui pourrait influencer la généralisation des résultats. De plus, certaines variables potentiellement influentes, telles que la consommation énergétique, ont été exclues de l'analyse en raison de données manquantes.

Malgré ces limitations, notre recherche offre des insights précieux et propose des recommandations pratiques pour les futures politiques climatiques. Les résultats suggèrent que la taxe sur le carbone peut avoir un effet réducteur sur les émissions de CO₂, mais des recherches supplémentaires sont nécessaires pour confirmer ces conclusions et mieux comprendre les mécanismes sous-jacents.

Bien que la réduction observée des émissions de CO₂ soit encourageante, l'établissement d'une relation causale précise reste complexe en raison des limitations méthodologiques. Les décideurs doivent prendre en compte les défis liés à la mise en œuvre et à l'évaluation des politiques de tarification du carbone. Cela implique de concevoir des politiques qui non seulement encouragent la réduction des émissions, mais aussi minimisent les impacts économiques négatifs. Il est également crucial de s'assurer que les politiques sont basées sur des données de haute qualité et des analyses rigoureuses pour maximiser leur efficacité et leur acceptabilité. En particulier, les décideurs politiques doivent interpréter ces résultats avec prudence, tout en continuant à améliorer les méthodologies d'évaluation des politiques climatiques. En renforçant les méthodologies d'évaluation et en utilisant des données plus complètes, les politiques de tarification du carbone pourront être optimisées pour

mieux répondre aux défis environnementaux et économiques.

En somme, cette étude souligne l'importance d'une évaluation rigoureuse et transparente des instruments de tarification du carbone, et appelle à des efforts continus pour affiner les méthodologies et améliorer la qualité des données utilisées. Cela permettra de soutenir l'élaboration de politiques climatiques fondées sur des preuves solides et d'encourager d'autres pays à adopter des mesures similaires pour lutter contre le changement climatique.

6.1 Suggestions pour les recherches futures

Pour les recherches futures, il est recommandé d'inclure plus de données en considérant les impacts dus à la pandémie de COVID-19, tout en gardant à l'esprit que les données peuvent être biaisées par les perturbations économiques et sociales liées à la pandémie. L'incorporation de variables supplémentaires, telles que des indicateurs de politiques environnementales spécifiques et des mesures de l'efficacité énergétique, pourrait également enrichir les analyses. De plus, l'application de méthodes économétriques alternatives, telles que les modèles à effets fixes avec variables instrumentales ou les méthodes de discontinuité de la régression (RD), pourrait fournir des perspectives complémentaires et aider à surmonter les défis méthodologiques actuels.

Ces améliorations méthodologiques permettront de soutenir l'élaboration de politiques climatiques fondées sur des preuves solides et encourageront d'autres pays à adopter des mesures similaires pour lutter contre le changement climatique. En continuant à affiner les méthodes de recherche et en améliorant la qualité des données utilisées, les futures études pourront offrir des insights plus précis et aider à développer des stratégies efficaces pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle mondiale.

Références

- [1] Masson-Delmotte, V. and Zhai, P. and Pirani, A. and Connors, S.L. and Péan, C. and Berger, S. and Caud, N. and Chen, Y. and Goldfarb, L. and Gomis, M.I. and Huang, M. and Leitzell, K. and Lonnoy, E. and Matthews, J.B.R. and Maycock, T.K. and Waterfield, T. and Yelekçi, O. and Yu, R. and Zhou, B. (eds.) (2021). *Climate change 2021: The physical science basis. contribution of working group i to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* [IPCC]. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- [2] Cour européenne des droits de l'homme. (2024). Verein klimasenioren schweiz and others v. switzerland [Affaire no 53600/20, Jugement du 9 avril 2024].
- [3] Charlotte E. Blattner. (2024). European ruling linking climate change to human rights could be a game changer — here's how. *Nature*, 628, 691. <https://doi.org/10.1038/d41586-024-01177-3>
- [4] Co2 levy. (2024). *Federal Office for the Environment*. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/climate/info-specialists/co2-levy.html>
- [5] The Federal Council. (2020). Linking of the swiss and eu emissions trading systems [Accessed: 2024-05-27]. <https://www.admin.ch/content/gov/en/start/documentation/media-releases.msg-id-77037.html>
- [6] The Federal Council. (2021). Co2 act and long-term climate strategy [Accessed: 2024-05-27]. <https://www.admin.ch/gov/en/start/documentation/media-releases/media-releases-federal-council.msg-id-82140.html>
- [7] Swiss approve net-zero climate law. (2023). *SWI swissinfo.ch*. <https://www.swissinfo.ch/eng/politics/swiss-to-decide-on-net-zero-climate-law/48593158>
- [8] International Monetary Fund. European Dept. (2023). Switzerland: Climate change mitigation in switzerland. *IMF Staff Country Reports*, 2023(197). <https://doi.org/10.5089/9798400243608.002>
- [9] Felix Pretis. (2022). Does a Carbon Tax Reduce CO2 Emissions? Evidence from British Columbia. *Environmental & Resource Economics*, 83(1), 115–144. <https://doi.org/10.1007/s10640-022-00679-w>
- [10] Metcalf, Gilbert E and Stock, James H. (2020, July). *The Macroeconomic Impact of Europe's Carbon Taxes* (Working Paper No. 27488). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w27488>
- [11] Assaad Ghazouani and Wanjun Xia and Mehdi Ben Jebli and Umer Shahzad. (2020). Exploring the role of carbon taxation policies on co2 emissions: Contextual evidence from tax implementation and non-implementation european countries. *Sustainability*, 12(20), 8680. <https://doi.org/10.3390/su12208680>
- [12] Centre for Public Impact. (2012). The carbon tax in australia [Accessed: 2024-05-27]. <https://www.centreforpublicimpact.org/case-study/carbon-tax-australia>
- [13] Allen A. Fawcett and James R. Mcfarland and Adele C. Morris and John P. Weyant. (2018). Exploring the impacts of a national u.s. co2 tax and revenue recycling options with a coupled electricity-economy model. *Climate Change Economics*, 9(01), 1840015. <https://doi.org/10.1142/S2010007818400158>
- [14] Finkelstein Shapiro, Alan and Metcalf, Gilbert E. (2021, May). *The macroeconomic effects of a carbon tax to meet the u.s. paris agreement target: The role of firm creation and technology adoption* (Working Paper No. 28795). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w28795>

- [15] Grieder, Manuel and Bärenbold, Rebekka and Schmitz, Jan and Schubert, Renate. (2021). The behavioral effects of carbon taxes – experimental evidence. *SSRN*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3628516>
- [16] Caron, Justin and Cohen, Stuart M. and Brown, Maxwell and Reilly, John M. (2018). Exploring the impacts of a national u.s. co2 tax and revenue recycling options with a coupled electricity-economy model. *Climate Change Economics*, 09(01), 1840015. <https://doi.org/10.1142/S2010007818400158>
- [17] Bruvoll, Annegrete and Larsen, Bodil. (2004). Greenhouse gas emissions in norway: Do carbon taxes work? *Energy Policy*, 32, 493–505. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00151-4](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00151-4)
- [18] Vrolijk, Kasper and Sato, Misato. (2023). Quasi-Experimental Evidence on Carbon Pricing. *The World Bank Research Observer*, 38(2), 213–248. <https://doi.org/10.1093/wbro/lkad001>
- [19] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2023a). Environment database - greenhouse gas emissions [Données collectées à partir des Inventaires Nationaux soumis en 2023 à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC, tableaux CRF) et des réponses au questionnaire de l'OCDE sur l'état de l'environnement. Consulté le 27 mai 2024]. https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=AIR_GHG
- [20] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2016). Oecd population statistics [Données collectées auprès des offices nationaux de statistique, Eurostat et les Nations Unies. Consulté le 27 mai 2024]. https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=ITF_INLAND_INFR
- [21] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2023b). (oecd) trends in the transport sector [Données collectées auprès des ministères des Transports, des offices nationaux de statistique et d'autres institutions désignées comme sources officielles. Consulté le 27 mai 2024]. https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=ITF_PASSENGER_TRANSPORT
- [22] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2023c). (oecd) transport performance indicators [Données collectées à partir de multiples sources. Consulté le 27 mai 2024]. https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=ITF_INLAND_INFR
- [23] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2022). Growth in gdp per capita, productivity and ulc [Estimations basées sur les Comptes Nationaux de l'OCDE, les Perspectives de l'Emploi de l'OCDE et des sources nationales. Consulté le 27 mai 2024]. https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=PDB_GR
- [24] Ritchie, Hannah and Roser, Max. (2023). Energy [Consulté le 27 mai 2024]. <https://ourworldindata.org/energy>
- [25] didregress postestimation: Postestimation tools for didregress and xtdidregress. (2021). <https://www.stata.com/manuals/tedidregresspostestimation.pdf>
- [26] Abadie, A., Diamond, A., Hainmueller, J. (2010). Synthetic control methods for comparative case studies: Estimating the effect of california's tobacco control program. *Journal of the American Statistical Association*, 105(490), 493–505. <https://doi.org/10.1198/jasa.2009.ap08746>
- [27] OpenAI. (2023). *Chatgpt v4: Openai's language model* [Corrections orthographiques et syntaxiques]. <https://www.openai.com/research/chatgpt>

- [28] Trenton Mize. (2023). Cleanplots: A software for creating clean and aesthetically pleasing plots in stata [Consulté le 27 mai 2024]. <https://www.trentonmize.com/software/cleanplots>
- [29] Jann, Ben and Hainmueller, Jens and Abadie, Alberto and Diamond, Alexis. (2023). Synth: Stata module to implement synthetic control methods for comparative case studies [Consulté le 27 mai 2024]. <http://fmwww.bc.edu/RePEc/bocode/s/synth.html>