



Estimation de l'effet du marché du carbone européen sur l'industrie manufacturière française

Geoffrey Barrows, Institut Polytechnique de Paris, **Raphael Calel**, Georgetown University, **Martin Jégard**, Uppsala University, **Hélène Ollivier**, Paris School of Economics

Le système d'échange de quotas d'émission (SEQE) de l'Union européenne (communément appelé marché du carbone européen) est un programme qui ne réglemente que les grandes installations émettrices. Il existe donc des différences d'une entreprise à l'autre au sein d'un même secteur, voire d'une usine à l'autre au sein d'une même entreprise. Pour évaluer les effets de telles politiques qui ne sont pas appliquées universellement, on compare souvent l'évolution des résultats des entreprises réglementées à celle des entreprises non réglementées du même secteur mais ayant des caractéristiques communes, en recourant à l'estimateur conventionnel des doubles différences. Toutefois, si les entreprises sont en concurrence sur un même marché, tous les modèles de concurrence imparfaite prévoient que les effets de la réglementation industrielle se répercutent sur les entreprises réglementées ou non par le biais des prix. Par conséquent, les estimateurs conventionnels de doubles différences ne peuvent pas identifier correctement les effets de traitement, les résultats des entreprises de contrôle étant contaminés par la réglementation étudiée.

Ce *Focus* présente une nouvelle méthode pour estimer les effets de traitement d'une réglementation incomplète en présence de *spillovers* (retombées) inter-entreprises¹. Les résultats montrent que, bien que la réglementation ait augmenté le coût de l'énergie, le SEQE n'a pas désavantagé les entreprises réglementées : leurs ventes annuelles ont augmenté de 5 à 10 %. Parallèlement, nous constatons que les émissions de CO₂ ont diminué de 6 à 21 % en moyenne selon les années dans les usines réglementées. Au total, nous constatons que le SEQE a réduit les émissions de CO₂ générées par les entreprises manufacturières françaises lors de la production de biens destinés au marché intérieur de 1 à 6,1 millions de tonnes par an, soit entre 3 et 17 % des émissions nationales observées, par rapport à un scénario contrefactuel sans réglementation.

¹ Barrows G., Calel R., Jégard M. et Ollivier H. (2023) : *Estimating the effects of regulation when treated and control firms compete: a new method with application to the EU ETS*.

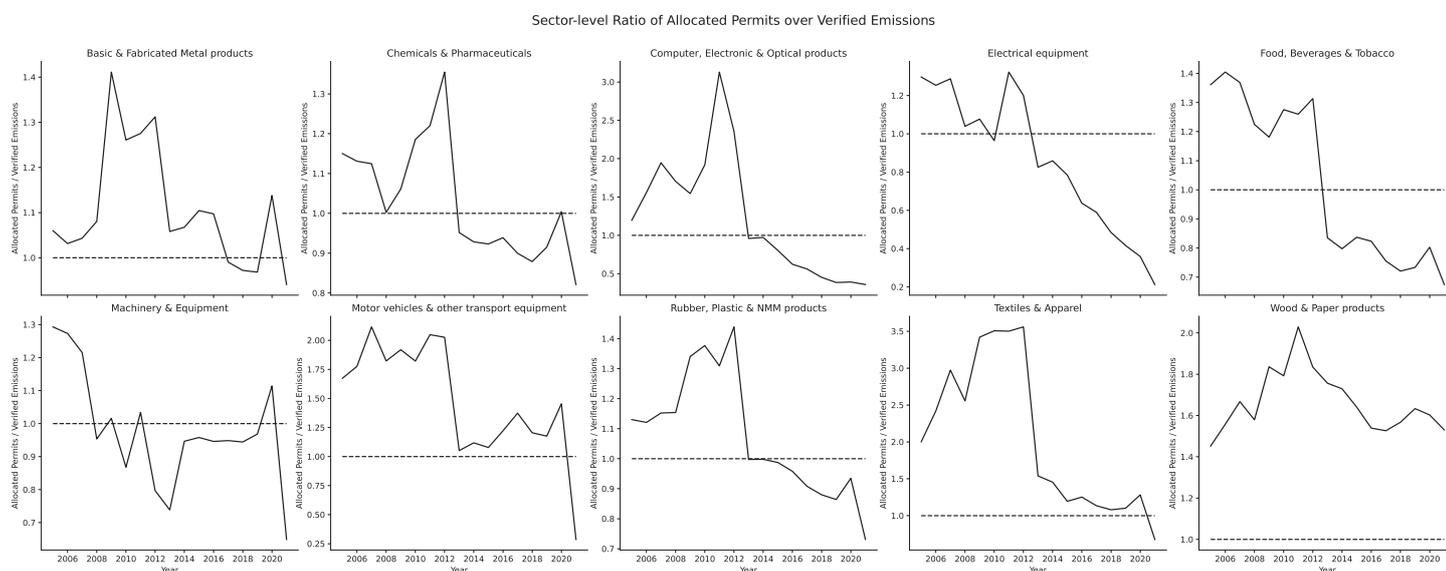
Contexte et données

Le système d'échange de quotas d'émission (SEQE) est la politique climatique phare de l'Union européenne. Ce marché du carbone à l'échelle de l'UE a été proposé pour la première fois en 2000, adopté en 2003 et lancé en 2005. Le programme ambitionne de plafonner les émissions de carbone combinées de plus de 10 000 grandes centrales électriques et usines dans toute l'Europe, tout en permettant l'échange de permis d'émission entre usines afin de maintenir les coûts de mise en conformité à un niveau peu élevé. Dans le secteur manufacturier, le programme inclut toutes les installations de combustion dont la puissance thermique nominale est supérieure à 20 MW, ainsi que d'autres processus de production dont la capacité ou le rendement est supérieur à des seuils prédéterminés spécifiques à l'industrie.

Le SEQE a été mis en œuvre en trois phases d'échange distinctes, qui diffèrent en termes d'ambition et de règles. La phase I, de 2005 à 2007, a été conçue comme une période d'essai : le plafond d'émissions était plus généreux, les permis étaient attribués sur la base des émissions historiques, mais ces permis ne pouvaient pas être mis en réserve en vue d'une mise en conformité future. La phase II, de 2008 à 2012, a coïncidé avec la première période d'engagement au titre du protocole de Kyoto, et le plafond d'émissions a été fixé de manière à respecter l'engagement collectif de l'UE en matière de réduction des émissions. La phase III, de 2012 à 2020, a centralisé le processus d'attribution des permis, qui est passé des régulateurs nationaux à la Commission européenne, et l'attribution des permis est progressivement passée par voie d'enchères.

La figure 1 illustre la part élevée des allocations gratuites qui ont été distribuées aux entreprises françaises dans les différents secteurs industriels. On remarque que dans la totalité des secteurs industriels, la première phase du SEQE a distribué plus d'allocations gratuites qu'il n'y a eu d'émissions vérifiées. Progressivement la part des allocations gratuites a diminué dans l'ensemble des secteurs. Toutefois, même si le ratio entre allocations gratuites et émissions vérifiées est largement supérieur à 1 à l'échelle du secteur, cela masque des disparités entre des entreprises recevant plus d'allocations gratuites que leurs émissions vérifiées et d'autres moins, en fonction des technologies employées.

Figure 1. Part des allocations gratuites distribuées aux entreprises françaises



À partir de la phase III, la Commission européenne a créé un registre intégré pour suivre l'ensemble du marché. Nous avons extrait de ce registre l'adresse de chaque installation réglementée en France, ainsi que la date initiale de la réglementation et l'identifiant fiscal français unique de l'entreprise propriétaire de l'installation. Nous avons ensuite fait correspondre les installations relevant du SEQE aux usines en utilisant les identifiants fiscaux et les adresses postales. Au total, nous avons dénombré en France 1 415 installations réglementées dans le cadre du SEQE, réparties entre 1 264 usines et 846 entreprises (à noter qu'une grande usine peut comprendre plusieurs installations).

Les effets du marché du carbone européen sur l'industrie manufacturière française

Le modèle sur lequel nous nous appuyons pour évaluer le SEQE prédit que les indices de prix de l'industrie et du secteur jouent un rôle dans la propagation des effets de la réglementation. Pour construire des approximations de ces indices de prix et ainsi estimer les effets de traitement, nous avons besoin de données sur les revenus de toutes les entreprises actives sur le marché français. Pour ce faire, nous utilisons les données déclarées à l'administration fiscale française¹. Nous classons les entreprises dans des « industries » en utilisant un code d'activité à quatre chiffres déclaré par les entreprises, et nous utilisons les deux premiers chiffres des codes d'activité pour définir les « secteurs ». Nous présentons des statistiques descriptives sur les ventes, l'emploi et le nombre d'usines pour l'année 2004 (la dernière année précédant la réglementation) dans le panneau A du tableau 1. Le panneau B présente les émissions et l'emploi à l'échelle des usines. Le nombre d'employés pour chaque usine provient de l'inventaire des établissements, tandis que les émissions à l'échelle de l'usine sont fondées sur des enquêtes détaillées sur la consommation d'énergie (EACEI). Les données sur la consommation d'énergie sont collectées annuellement pour les usines de plus de 250 employés, tandis que les usines plus petites sont échantillonnées de manière aléatoire.

La mise en relation du statut de réglementation des usines et de leurs émissions indique que, bien que la réglementation cible les usines selon leur capacité de production plutôt qu'en fonction de leurs émissions, la part d'usines réglementées augmente avec les émissions de CO₂ (Figure 2). Nous constatons cependant que la réglementation n'atteint jamais 100 % des établissements, même pour les niveaux de pollution les plus élevés.

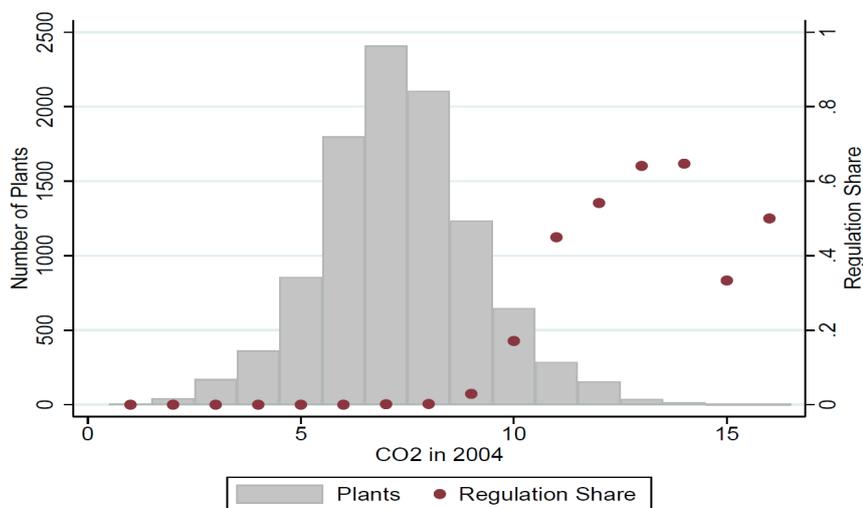
Tableau 1. Statistiques descriptives sur l'année 2004

	échantillon total			échantillon apparié		
	réglementé (1)	non réglementé (2)	p-val (3)	réglementé (4)	non réglementé (5)	p-val (6)
Panneau A : données à l'échelle des entreprises						
Ventes (en millions d'euros)						
domestiques	251,4	4,053	0,000	109,6	103,0	0,718
exports	98,65	1,033	0,000	68,50	52,76	0,172
ensemble	350,1	5,086	0,000	178,1	155,8	0,370
Part de marché	0,066	0,001	0,000	0,033	0,029	0,336
Nombre d'employés	846,8	22,77	0,000	568,9	502,1	0,455
Nombre d'usines	3,625	1,160	0,000	2,353	2,624	0,279
Dispersion des activités économiques*	0,513	0,050	0,000	0,376	0,404	0,573
Croissance moyenne des revenus pré-réglementation	0,210	0,114	0,002	0,203	0,175	0,437
Nombre d'entreprises	363	149 188		255	255	
Panneau B : données à l'échelle des usines						
Émissions de CO ₂ (en milliers de kg)	76,92	4,722	0,000	58,52	76,62	0,748
Nombre d'employés	403,4	172,3	0,000	392,1	422,7	0,702
Nombre d'entreprises	301	6 657		156	157	
Nombre d'usines	606	7 918		173	173	

* La dispersion des activités économiques d'une entreprise mesure la répartition de son activité entre ses différentes usines : elle est croissante avec le nombre d'usines.

Lecture : les valeurs correspondent à la moyenne des observations annuelles de l'année 2004 (dernière année avant la réglementation) par statut de réglementation. Les colonnes 1 et 2 concernent toutes les entreprises de tous les secteurs avec un code à deux chiffres entre 15 et 37 selon le NAFRev. 1. Les colonnes 4 et 5 ne concernent que les entreprises de l'échantillon apparié. Les colonnes 3 et 6 contiennent les p-values des tests de Student portant sur la différence des valeurs moyennes entre entreprises réglementées et non réglementées.

¹ Ces données sont regroupées par l'Insee dans les bases FICUS (de 1994 à 2007) et FARE (de 2008 à 2016). Les entreprises y sont identifiées avec un identifiant fiscal unique, commun aux deux jeux de données.

Figure 2. Distribution des usines en fonction de leurs émissions de CO₂ en 2004 et proportion des usines réglementées

Source : EACEI, EUTL, calculs auteurs.

Mise en relation du modèle et des données

Pour évaluer les effets du SEQE sur les revenus et les émissions de CO₂ des entreprises manufacturières françaises, nous nous appuyons sur une nouvelle méthode pour estimer les effets du traitement d'une réglementation incomplète en présence de spillovers (retombées) inter-entreprises. Cette méthode est présentée de manière détaillée dans l'article original sur lequel se base ce *Focus*³. En résumé, nous avons construit un modèle d'offre et de demande de biens différenciés, dans lequel le gouvernement taxe les intrants d'un sous-ensemble d'entreprises. Nous montrons que l'évolution des émissions et de la production à l'échelle de l'entreprise entre une période pré-réglementaire et une période post-réglementaire dépend non seulement du statut réglementaire de l'entreprise elle-même, mais aussi du statut réglementaire de l'ensemble des entreprises du secteur. Pour tenir compte de ces dépendances inter-entreprises lors de l'estimation des effets de traitement, nous développons une méthode des moments généralisée (GMM) qui tire parti de conditions d'exclusion fondées sur le modèle pour estimer des coefficients de forme réduite. À partir des estimations de ces coefficients, nous pouvons calculer les résultats contrefactuels, et donc les effets de traitement moyens et agrégés de la réglementation considérée.

Notre modèle théorique dépeint cependant une réalité quelque peu simplifiée. Trois questions pratiques doivent donc être abordées pour le relier aux données : (i) l'endogénéité du traitement, (ii) les marchés étrangers et (iii) les émissions non observées pour les petites usines.

Endogénéité du traitement

Les colonnes (1) et (2) du tableau 1 montrent que la réglementation est incomplète : seulement 0,1 % des entreprises manufacturières françaises exploitent des usines réglementées par le SEQE. Nous constatons également que la réglementation cible les grandes entreprises : les entreprises réglementées exploitent davantage d'usines, emploient plus de travailleurs et ont un chiffre d'affaires supérieur. Si la productivité suivait une marche aléatoire au cours de cette période, il n'y aurait aucune raison de s'attendre à ce que les variations de revenus soient corrélées avec les niveaux de 2004 : le lien entre taille avant la réglementation et traitement ne serait donc pas source d'inquiétude. Cependant, de manière plus générale, on peut penser que les résultats des entreprises réglementées et non réglementées auraient suivi des tendances différentes même en l'absence de politique, étant donné la corrélation évidente avec la taille avant la réglementation. Pour répondre à cette préoccupation, nous apparions les entreprises réglementées aux entreprises non réglementées au sein de chaque secteur sur la base des caractéristiques antérieures à la réglementation (revenus, mesures de dispersion, nombre d'employés, part du marché intérieur, logarithme des ventes à l'exportation).

² Harrigan J., Reshef A. et Toubal F. (2018) : "Techies, trade, and skill-biased productivity", *Technical report*, National Bureau of Economic Research.

³ Barrows G., Calel R., Jégard M. et Ollivier H. (2023) : *op.cit.*

Les effets du marché du carbone européen sur l'industrie manufacturière française

Les statistiques descriptives de l'échantillon figurent dans les colonnes (4) et (5) du tableau 1. Nous avons apparié 255 des 363 entreprises réglementées, chacune avec une seule entreprise non réglementée. Le SEQE réglemente de nombreuses entreprises parmi les plus importantes : il est donc parfois impossible de trouver des entreprises non réglementées similaires au sein des mêmes industries. Ainsi, les entreprises que nous avons appariées sont nettement plus petites que l'entreprise type du SEQE, avec une part de marché moyenne en 2004 de 3 % (contre 6 %). Les entreprises réglementées et non réglementées appariées sont équilibrées en termes de variables clés : revenus, croissance des revenus et dispersion des activités économiques entre les différentes usines.

La réglementation du SEQE étant fondée sur la taille des usines, nous pourrions penser que l'appariement des revenus à l'échelle de l'entreprise et de la dispersion de l'activité économique entre les usines éliminerait toutes les variations permettant l'identification. Cependant, le modèle exige seulement que nous conditionnions une mesure particulière de la dispersion économique. La stratégie d'identification reste valable tant qu'il existe une mesure alternative de la dispersion qui prédit le traitement. Nous trouvons que la concentration inter-usines mesurée par l'indice de Herfindahl est corrélée avec le futur statut réglementaire. Ainsi, même après l'appariement sur les revenus et la dispersion économique, il reste une variation dans le traitement qui peut être utilisée pour identifier l'effet de la réglementation.

Comme le montre le panneau B du tableau 1, les usines réglementées ont davantage d'employés et des émissions plus élevées. Cependant, comme la réglementation est fondée sur la capacité de production plutôt que sur les émissions, certaines usines fortement émettrices ne sont pas réglementées.

Marchés étrangers

Notre stratégie empirique repose sur la construction de contreparties empiriques à l'indice de prix théorique à l'échelle de l'industrie et du secteur, ce qui nécessite des informations sur toutes les entreprises concurrentes. Le modèle considère un marché unique, mais les entreprises françaises sont en réalité en concurrence dans une économie internationale. Les entreprises exportent une partie de leur production sur les marchés étrangers et sont en concurrence avec les importations en provenance de ces marchés étrangers. Nous devons trouver un moyen de tenir compte de ces exportations et importations dans nos indices de prix, sans élargir radicalement les exigences en matière de données pour inclure toutes les entreprises du monde.

Pour tenir compte des exportations, nous opérons une distinction entre les ventes nationales et les ventes à l'étranger. Pour la plupart des analyses présentées, nous prenons les ventes intérieures des entreprises françaises comme variable de résultat. Ces ventes représentent environ 75 % des revenus totaux des entreprises françaises. Nous limitons également l'analyse aux émissions de CO₂ générées lors de la production pour les ventes nationales, que nous calculons en multipliant les émissions totales par la part des recettes nationales.

Les importations constituent un plus grand défi. Elles représentent environ un tiers de la consommation française de biens manufacturés, mais nous n'observons pas les parts de marché des vendeurs étrangers individuels sur le marché français – information dont nous aurions besoin pour construire les indices de prix. Pour contourner ce problème, nous utilisons les flux commerciaux bilatéraux enregistrés dans le jeu de données BACI⁴, en supposant que chaque pays d'origine/industrie est associé à une seule entreprise exportant vers la France.

Imputation des émissions pour les petites usines

Nous cherchons notamment à évaluer la manière dont la réglementation a affecté les émissions globales de CO₂ de l'industrie manufacturière française. Cependant, l'enquête EACEI, qui renseigne sur la consommation d'énergie, n'inclut que 10 % de toutes les usines chaque année, omettant notamment de nombreuses usines non réglementées. Pour estimer l'effet global sur la base de cet échantillon, nous avons besoin de deux autres hypothèses.

Premièrement, nous supposons qu'il n'y a pas de différences systématiques entre les usines enquêtées et celles qui ne le sont pas, conditionnellement aux éléments observables. Cela implique que les effets de traitement estimés sur l'échantillon sont valables pour l'ensemble des usines.

⁴ Gaulier G. et Zignago S. (2010) : "BACI: International Trade Database at the Product-Level. The 1994-2007 Version", CEPII research center, *Working Papers*, 23.

Deuxièmement, nous imputons les émissions des usines non enquêtées en multipliant les revenus de l'usine par la médiane des émissions sectorielles de l'année par unité de revenu. Cette imputation repose sur l'interprétation littérale de l'hypothèse de modélisation selon laquelle l'intensité des émissions des revenus ne varie pas d'une usine à l'autre au cours d'une année-secteur, en l'absence de réglementation. Nous présenterons les résultats de l'effet du SEQE sur les émissions totales en nous fondant uniquement sur les données de l'enquête et sur ces données imputées. Dans ce dernier cas, nous restons attentifs au fait que l'estimation de l'effet global sur les émissions repose sur des hypothèses plus fortes que les autres.

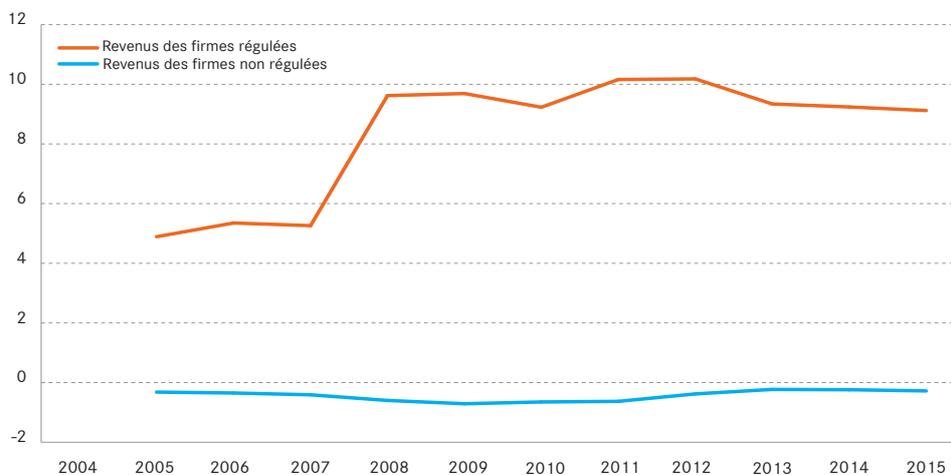
Résultats

Revenus

La figure 3 présente les effets moyens du SEQE sur les ventes intérieures des entreprises manufacturières françaises. Nous estimons ces effets en différences longues par rapport à 2004 qui est la dernière année précédant la réglementation. La courbe orange présente l'effet moyen sur les ventes des entreprises réglementées : nous constatons que le SEQE a augmenté les ventes nationales de l'entreprise réglementée moyenne de 5 à 10 % par an, par rapport au scénario contrefactuel non réglementé. Au niveau agrégé, les recettes nationales des entreprises réglementées ont augmenté de 1 à 4 % en tant que groupe.

Nous constatons également un effet négatif de la réglementation sur les ventes des entreprises non réglementées (courbe bleu clair). Nos estimations décrivent une réduction de 0,2 à 0,7 % des recettes nationales pour les entreprises non réglementées en moyenne ou, de manière équivalente, une baisse de leurs ventes de 0,3 % à 0,7 %.

Figure 3 – Effets du marché du carbone européen sur les ventes domestiques des entreprises françaises



Source : EACEI, EUTL, FICUS-FARE, calculs des auteurs.

Émissions

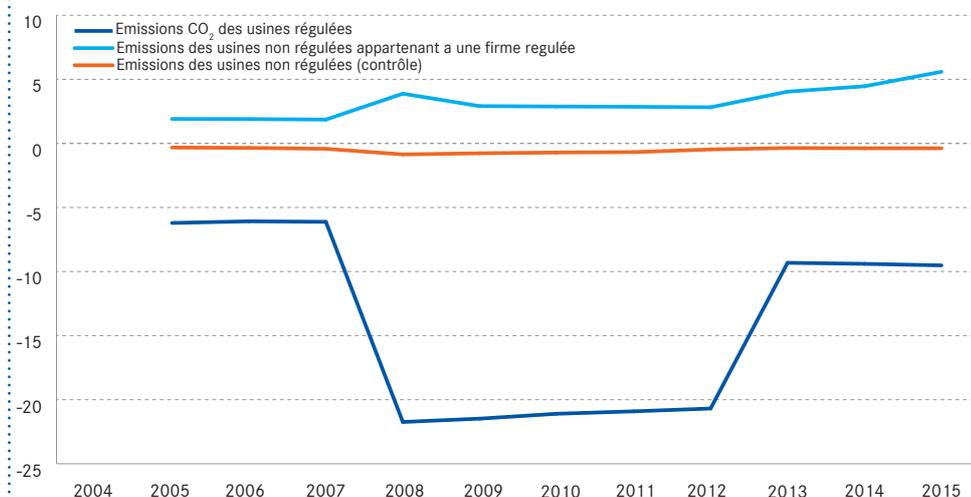
La Figure 4 résume les effets estimés du SEQE sur les émissions nationales. Nos estimations indiquent que le SEQE a réduit les émissions de l'usine réglementée moyenne de 6 à 21 %, en fonction de l'année (courbe bleu foncé). Ces résultats suggèrent que la réglementation est bien parvenue à son objectif qui est celui d'une diminution des émissions dans les usines réglementées.

Nous constatons également une augmentation de 1 à 5 % des émissions dans les installations de contrôle exploitées par les entreprises traitées (courbe bleu clair). Cela suggère que les entreprises réglementées ont transféré une partie de leurs émissions des usines directement soumises au SEQE vers les usines non réglementées qui leur appartiennent.

Les effets du marché du carbone européen sur l'industrie manufacturière française

Notre estimateur montre également un effet quasi nul de la réglementation sur les émissions des usines appartenant à des entreprises non réglementées, avec une baisse maximale de 0,7 % (courbe orange).

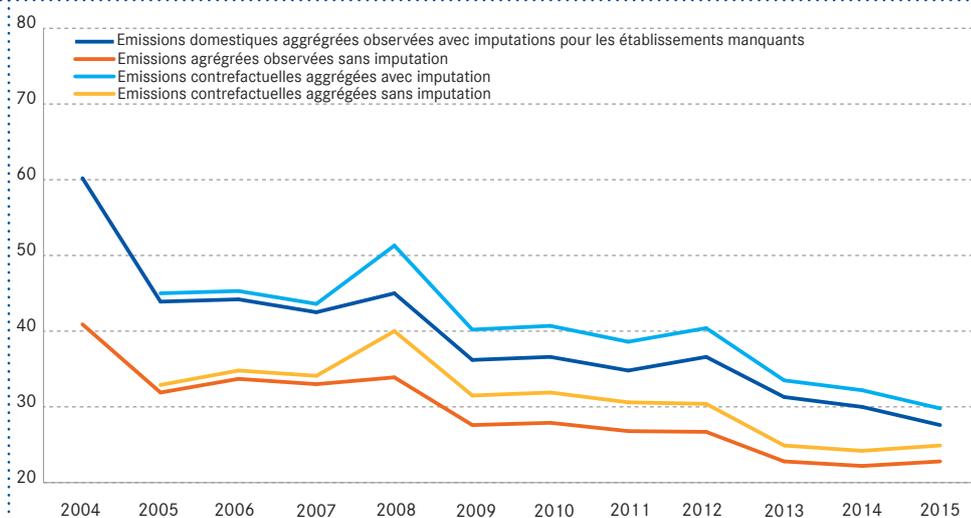
Figure 4. Effets du marché du carbone européen sur les émissions des CO₂ des établissements industriels français



Lecture : Le graphique représente l'effet moyen sur les émissions des usines réglementées, des usines non réglementées appartenant à une entreprise ayant d'autres usines réglementées et des entreprises dont aucune usine n'est réglementée.

Source : EACEI, EUTL, FICUS-FARE, calculs des auteurs.

Figure 5. Effets estimés du traitement sur les émissions globales de CO₂ générées par les entreprises manufacturières françaises pour le marché domestique



Note : Les lignes continues bleu foncé et orange foncé représentent les émissions de CO₂ observées totales, émises par les entreprises manufacturières pour le marché domestique. Les lignes bleu clair et orange clair représentent les émissions estimées pour une situation contrefactuelle sans réglementation. Les trajectoires basses ne comportent que les usines présentes dans l'enquête EACEI, tandis que les trajectoires hautes comportent les émissions imputées pour les usines manquantes.

Source : EACEI, EUTL, FICUS-FARE, calculs des auteurs.

Enfin, la Figure 5 présente les émissions globales de CO₂ générées lors de la production de biens destinés au marché français, ainsi que les niveaux contrefactuels calculés à l'aide de notre estimateur. L'ensemble des trajectoires du bas ne comprend que les usines observées dans les enquêtes sur la consommation des énergies fossiles (EACEI), tandis que l'ensemble des trajectoires du haut comprend toutes les usines avec les émissions imputées pour les petites usines non enquêtées.

Sans imputation, nous constatons que la réglementation a réduit les émissions nationales de 1 à 6 millions de tonnes par an, soit de 3 à 17 % des émissions totales (non imputées). En effet, le contrefactuel des émissions globales générées

pour la consommation domestique obtenu grâce à notre méthodologie (ligne rouge en pointillé) se situe au-dessus de la trajectoire des émissions observées (ligne continue noire). En l'absence du SEQE, les émissions globales auraient donc été plus élevées. Pour plus de robustesse, nous comparons nos résultats globaux à ceux obtenus avec l'imputation des émissions pour les usines non enquêtées. Avec l'imputation, nous constatons que la réglementation a réduit les émissions de 1,1 à 6,3 millions de tonnes par an, selon l'année, soit de 2,5 à 14 % des émissions totales du secteur manufacturier. Au total, nous constatons que le SEQE a réduit les émissions générées par la production de biens industriels destinés à la consommation intérieure entre 2005 et 2015 de 31 millions de tonnes sans imputation ou de 31,9 millions avec imputation.

Conclusion

En utilisant une méthode d'estimation spécifique aux réglementations couvrant une faible proportion des usines et des entreprises dans un contexte de concurrence imparfaite, ce *Focus* évalue les effets du marché du carbone européen. Contrairement aux craintes d'instauration d'un désavantage concurrentiel, le SEQE ne semble pas avoir augmenté les coûts marginaux de production des fabricants français soumis à cette réglementation. Au contraire, les revenus des fabricants français réglementés sont supérieurs de 5 à 10 % à ce qu'ils auraient été en l'absence de SEQE, tandis que les émissions des usines réglementées sont inférieures de 6 à 21 % selon les années. Les usines non réglementées appartenant à des entreprises réglementées ont vu leurs émissions augmenter légèrement, mais pas suffisamment pour contrebalancer les réductions d'émissions des usines réglementées. Les émissions globales produites en France pour le marché français ont baissé de 3 à 17 % par rapport au scénario contrefactuel non réglementé.



**conseil d'analyse
économique**

Le Conseil d'analyse économique, créé auprès de la Première ministre, a pour mission d'éclairer, par la confrontation des points de vue et des analyses de ses membres, les choix du gouvernement en matière économique.

Président délégué Camille Landais

Secrétaire générale Hélène Paris

Conseillers scientifiques

Jean Beuve, Claudine Desrieux,
Maxime Fajeau, Thomas Renault

Économistes/Chargés d'études

Floriane Jouy-Gelin, Madeleine Péron,
Pierre-Léo Rouat, Ariane Salem

Membres Emmanuelle Auriol, Antoine Bozio, Sylvain Chassang, Anne Epaulard, Gabrielle Fack, François Fontaine, Maria Guadalupe, Fanny Henriot, Xavier Jaravel, Sébastien Jean, Camille Landais, Isabelle Méjean, Thomas Philippon, Xavier Ragot, Katheline Schubert, David Sraer, Stefanie Stantcheva, Jean Tirole; Emmanuel Moulin et Jean-Luc Tavernier sont membres de droit

Correspondants

Dominique Bureau, Anne Perrot, Aurélien Saussay,
Ludovic Subran

Toutes les publications du Conseil d'analyse économique sont téléchargeables sur son site : www.cae-eco.fr

ISSN 2971-3560 (imprimé)
ISSN 2999-2524 (en ligne)

Contact Presse Hélène Spoladore
helene.spoladore@cae-eco.fr – Tél. : 01 42 75 77 47