

N° 11F0019M au catalogue — N° 425
ISSN 1205-9161
ISBN 978-0-660-30796-1

Direction des études analytiques : documents de recherche

Croissance de la productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement dans le secteur de la fabrication au Canada

par Wulong Gu, Jakir Hussain et Michael Willox

Date de diffusion : le 8 mai 2019



 Statistique
Canada

Statistics
Canada

Canada 

Comment obtenir d'autres renseignements

Pour toute demande de renseignements au sujet de ce produit ou sur l'ensemble des données et des services de Statistique Canada, visiter notre site Web à www.statcan.gc.ca.

Vous pouvez également communiquer avec nous par :

Courriel à STATCAN.infostats-infostats.STATCAN@canada.ca

Téléphone entre 8 h 30 et 16 h 30 du lundi au vendredi aux numéros suivants :

- | | |
|---|----------------|
| • Service de renseignements statistiques | 1-800-263-1136 |
| • Service national d'appareils de télécommunications pour les malentendants | 1-800-363-7629 |
| • Télécopieur | 1-514-283-9350 |

Programme des services de dépôt

- | | |
|-----------------------------|----------------|
| • Service de renseignements | 1-800-635-7943 |
| • Télécopieur | 1-800-565-7757 |

Normes de service à la clientèle

Statistique Canada s'engage à fournir à ses clients des services rapides, fiables et courtois. À cet égard, notre organisme s'est doté de normes de service à la clientèle que les employés observent. Pour obtenir une copie de ces normes de service, veuillez communiquer avec Statistique Canada au numéro sans frais 1-800-263-1136. Les normes de service sont aussi publiées sur le site www.statcan.gc.ca sous «Contactez-nous» > «[Normes de service à la clientèle](#)».

Note de reconnaissance

Le succès du système statistique du Canada repose sur un partenariat bien établi entre Statistique Canada et la population du Canada, les entreprises, les administrations et les autres organismes. Sans cette collaboration et cette bonne volonté, il serait impossible de produire des statistiques exactes et actuelles.

Publication autorisée par le ministre responsable de Statistique Canada

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre de l'Industrie 2019

Tous droits réservés. L'utilisation de la présente publication est assujettie aux modalités de l'[entente de licence ouverte](#) de Statistique Canada.

Une [version HTML](#) est aussi disponible.

This publication is also available in English.

Croissance de la productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement dans le secteur de la fabrication au Canada

par

Wulong Gu, Jakir Hussain¹ et Michael Willox

Division de l'analyse économique
Statistique Canada

11F0019M N° 425

2019013

ISSN 1205-9161

ISBN 978-0-660-30796-1

Mai 2019

Direction des études analytiques Documents de recherche

La série Direction des études analytiques : documents de recherche permet de faire connaître les travaux de recherche effectués par le personnel de la Direction des études analytiques et les collaborateurs. Cette série a pour but de favoriser la discussion sur divers sujets, notamment le travail, l'immigration, la scolarité et les compétences, la mobilité du revenu, le bien-être, le vieillissement, la dynamique des entreprises, la productivité, les transitions économiques et la géographie économique. Le lecteur est invité à faire part aux auteurs de ses commentaires et suggestions.

Tous les documents de la série Direction des études analytiques : documents de recherche font l'objet d'une révision interne et d'une révision par les pairs. Cette démarche vise à faire en sorte que les documents soient conformes au mandat de Statistique Canada à titre d'organisme statistique gouvernemental et qu'ils respectent les normes généralement reconnues régissant les bonnes méthodes professionnelles.

Tout en respectant la politique, les lignes directrices et les principes généraux du *Manuel de la politique administrative du Conseil du Trésor* relatifs à l'emploi du féminin dans les écrits gouvernementaux, dans les textes qui traitent de collectivités, l'emploi du masculin générique est utilisé pour des raisons stylistiques et d'économie d'espace.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier Bob Gibson, de Statistique Canada, Nouri Najjar, de l'Université de Western Ontario et Dylan Morgan, d'Environnement et Changement climatique Canada, pour leur contribution inestimable à l'élaboration d'un ensemble de données de calibre mondial. Ils sont également reconnaissants envers Chris O'Donnell, Lynda Khalaf et les autres participants au mini-atelier sur la productivité de juin 2018 à l'Université de Carleton, pour leurs précieux commentaires ainsi qu'envers Samuel Gamtessa, de l'Université de Regina, pour ses commentaires très utiles. Les auteurs sont responsables de toute erreur ou omission.

1. Jakir Hussain était employé de Statistique Canada au moment où il a contribué à la présente étude. Il occupe actuellement un poste au gouvernement du Canada au ministère des Finances.

Table des matières

Résumé	5
Sommaire	6
1 Introduction	7
2 Méthodologie	8
2.1 L'estimation des coûts implicites des produits non souhaitables.....	8
2.2 Un cadre pour estimer la croissance de la productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement.....	9
3 Données	13
4 Résultats empiriques du secteur canadien de la fabrication	15
4.1 Émissions de produits non souhaitables.....	15
4.2 Résultats estimatifs pour les produits non souhaitables	17
4.3 Coûts implicites estimés pour les produits non souhaitables.....	19
4.4 Comparaison des estimations des coûts implicites d'une étude à l'autre.....	22
4.5 Estimations de la croissance de la productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement	24
4.6 Estimations de la croissance de la productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement et des coûts implicites des produits non souhaitables pour les sous-secteurs de la fabrication	26
5 Travaux de recherche à venir	28
6 Conclusion	30
Annexe A	31
A.1 Une comparaison des estimations au moyen de la production brute et du produit intérieur brut dans le secteur de la fabrication.....	31
Annexe B	34
B.1 Estimations des sous-secteurs de la fabrication.....	34
Bibliographie	37

Résumé

La nécessité de mesurer les produits souhaitables (les biens et services) ainsi que les produits non souhaitables (les émissions de gaz à effet de serre [GES] et les principaux contaminants atmosphériques [PCA]) issus de l'activité économique devient de plus en plus importante, tandis que la performance économique et la performance environnementale deviennent plus indissociables que jamais. Les mesures normalisées de la croissance de la productivité multifactorielle (PMF) donnent un aperçu des niveaux de vie à la hausse et du rendement des économies, mais elles pourraient être trompeuses si l'on tient compte uniquement des produits souhaitables. La présente étude fournit des estimations de la croissance de la productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement (PMFAE) au moyen d'une nouvelle base de données exhaustive. Cette base de données comprend des renseignements sur les émissions de GES et les PCA ainsi que sur les activités de production des fabricants canadiens. Dans l'ensemble, les résultats indiquent que la croissance de la PMFAE était supérieure à la croissance de la PMF, ce qui reflète grandement les diminutions de l'intensité des émissions de produits non souhaitables dans le secteur de la fabrication de 2004 à 2012.

Mots clés : coût implicite, environnement, fonction de distance de la production, productivité.

Sommaire

Des rapports novateurs se rapportant à l'économie et à l'environnement, comme ceux de Stern (2008) et de Stiglitz, Sen et Fitoussi (2009), ont permis de révéler dans quelle mesure l'activité économique et l'environnement sont étroitement liés l'un à l'autre. Une des incidences importantes de ces ouvrages est que les mesures normalisées de l'activité économique examinées séparément de l'environnement pourraient éventuellement être trompeuses. La productivité, définie simplement comme l'efficacité à laquelle les intrants sont transformés en produits, peut être particulièrement sensible aux facteurs à partir desquels elle est mesurée. La mesure de référence de la productivité utilisée dans la présente étude est la productivité multifactorielle (PMF), qui mesure essentiellement un seul produit (la production brute réelle) par rapport aux intrants utilisés dans la production (les intrants capital physique, travail et intermédiaires, qui comprennent l'énergie, le matériel et les services). Si la PMF affiche une croissance au fil du temps, cela peut être le résultat de l'amélioration de l'efficacité, de la technologie et de la qualité des produits fabriqués ainsi que de changements apportés à l'échelle de la production (Baldwin et coll., 2014; Syverson, 2011). Les estimations de la croissance de la productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement (PMFAE) fournies dans la présente étude incorporent la production des produits non souhaitables qui sont produits conjointement avec le produit souhaitable. Ces produits non souhaitables sont les émissions de gaz à effet de serre (GES), qui induisent les changements climatiques, et les principaux contaminants atmosphériques (PCA), qui réduisent la qualité atmosphérique.

Les résultats de l'étude indiquent que la prise en compte des produits non souhaitables du secteur de la fabrication au Canada donne lieu à un niveau de PMFAE inférieur à celui de la PMF. La différence entre la PMF et la PMFAE tient au fait que la production totale est calculée différemment pour les deux mesures de la productivité. Dans le cas de la PMF, la production totale comprend uniquement le produit souhaitable. La production totale de la PMFAE comprend également les produits non souhaitables qui sont produits conjointement avec le produit souhaitable. Les produits non souhaitables, parce qu'ils ne sont pas voulus, sont soustraits du produit souhaitable, faisant en sorte que la production totale associée à la PMFAE soit inférieure à celle qui est associée à la PMF. Comme les deux mesures de la productivité sont calculées en tant que leurs productions totales respectives par rapport aux mêmes intrants, le niveau de la PMFAE est inférieur à celui de la PMF, sauf dans le rare cas où aucun produit non souhaitable n'est produit.

Cependant, il en va autrement de la croissance de la PMF et de la PMFAE. Dans un cas simple où la quantité d'intrants ne change pas au fil du temps, mais où le produit souhaitable augmente, la PMF affiche une croissance. En outre, si les produits non souhaitables diminuent, la croissance de la PMFAE sera supérieure à la croissance de la PMF. Autrement dit, si la quantité d'émissions de GES et de PCA par rapport à la quantité de biens et services produits (c.-à-d. l'intensité des produits non souhaitables) diminue, la PMFAE aura une croissance plus rapide que la PMF. La baisse généralisée de l'intensité des produits non souhaitables des fabricants canadiens a été la raison principale pouvant expliquer la croissance plus forte de la PMFAE que celle de la PMF de 2004 à 2012.

Pour calculer la croissance de la PMFAE, il faut estimer les prix des différents types de GES et de PCA. Les prix des produits non souhaitables représentent le compromis entre l'intensité à laquelle les produits souhaitables et non souhaitables sont produits à l'aide d'une quantité donnée d'intrants. Tandis que l'intensité des produits non souhaitables diminue, le coût requis pour la réduire davantage tend à augmenter, ce qui se traduit par des prix absolus plus élevés pour les produits non souhaitables.

1 Introduction

Ce n'est pas d'hier que l'on constate que l'environnement et l'économie sont de plus en plus indissociables. La Commission Brundtland (CMED, 1987, p. 37) a observé que « l'environnement et le développement ne posent pas des défis distincts; ils sont inexorablement liés... dans un système complexe de cause et d'effet » [traduction]. Des études plus récentes, y compris celles de Stern (2008) et de Stiglitz, Sen et Fitoussi (2009), ont fait renaître le débat et fait dévier le discours vers la façon de mieux mesurer l'interaction entre l'environnement et l'économie. Pour ce faire, dans un certain nombre d'études récentes menées par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), on estime une mesure de la croissance de la productivité qui tient compte de la génération d'un petit ensemble de gaz à effet de serre (GES) et des principaux contaminants atmosphériques (PCA) — généralement désignés comme des produits non souhaitables — issus de l'activité économique. Ces études comprennent notamment celles menées par Brandt, Schreyer et Zipperer (2014); Dang et Mourougane (2014); et Cárdenas Rodríguez, Haščič et Souchier (2016). Plus précisément, chacune de ces trois études de l'OCDE adopte des approches communément utilisées fondées sur l'utilisation de fonctions de distance de la production pour dériver un coût implicite pour chacun des produits non souhaitables. Les coûts implicites estimés permettent ainsi de calculer la croissance de la productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement (PMFAE) à l'intérieur d'un cadre qui tient compte de la croissance.

Une approche similaire est utilisée dans la présente étude, malgré quelques différences importantes. Premièrement, les études de l'OCDE ont toutes recours au produit intérieur brut (PIB) réel comme mesure de la production souhaitable, tandis que la présente étude met l'accent sur la production brute réelle, une mesure plus inclusive de la production souhaitable, même si les estimations qui reposent sur le PIB réel sont également fournies aux fins de comparaison. Deuxièmement, les données utilisées dans les études de l'OCDE concernent l'économie totale en général afin de faciliter les comparaisons internationales, tandis que les données ayant servi à la présente étude sont obtenues au niveau de l'établissement commercial pour le secteur de la fabrication seulement. L'utilisation de microdonnées permet d'analyser le compromis à établir entre les produits souhaitables et non souhaitables produits conjointement qui résultent des décisions de production individuelles des établissements. En revanche, l'utilisation de données à un niveau national signifie qu'il est impossible de saisir directement non seulement le compromis entre les produits souhaitables et non souhaitables à l'intérieur des établissements et entre eux, mais aussi entre les industries et les régions.

Le reste du présent article est structuré de la façon suivante : la section 2 expose la méthodologie; la section 3 fournit une description détaillée des ensembles de données couplés utilisés; la section 4 porte sur certaines conclusions empiriques clés; la section 5 mentionne des domaines qui pourraient faire l'objet de travaux de recherche dans l'avenir; la section 6 présente la conclusion de l'article. Deux annexes fournissent des renseignements supplémentaires sur la croissance de la PMFAE et les coûts implicites pour certains sous-secteurs de la fabrication ainsi qu'une comparaison des estimations du secteur de la fabrication au moyen de la production brute réelle et du PIB réel.

2 Méthodologie

Dans la présente étude, une fonction de distance de la production de Shephard est estimée afin de dériver les coûts implicites pour les produits non souhaitables. Les coûts implicites permettent ensuite de dériver la croissance de la PMFAE, au moyen d'un cadre d'analyse causale de la croissance pour les produits non souhaitables similaire à celui auquel ont eu recours Brandt, Schreyer et Zipperer (2014). La croissance de la PMFAE est mesurée comme étant la différence entre la croissance des produits souhaitables et non souhaitables combinés et la croissance des intrants factoriels.

Les principaux renseignements requis pour estimer la croissance de la PMFAE sont les prix des produits non souhaitables qui sont rarement observés. Ces derniers constituent un élément essentiel pour créer des facteurs de pondération qui, en plus des quantités de produits non souhaitables, sont nécessaires pour comptabiliser la croissance. Les prix des produits non souhaitables peuvent être représentés par les coûts implicites, qui sont les coûts privés optimaux de réduction des produits non souhaitables pour chacun des établissements commerciaux. Ces coûts ne doivent pas être considérés comme les coûts sociaux optimaux, qui tiendraient également compte des répercussions des produits non souhaitables sur les institutions et les infrastructures publiques, la justice sociale et la santé et le revenu des particuliers. On a découvert que les coûts implicites des produits non souhaitables, à savoir le coût de renonciation pour enrayer les produits non souhaitables sous forme de production souhaitable réduite, variaient grandement entre les différents types de produits non souhaitables. On pourra observer la présence de faibles coûts implicites (en valeurs absolues) parce que la production des produits non souhaitables est importante par rapport à celle des produits souhaitables ou parce que le compromis entre les changements dans les produits souhaitables et non souhaitables est faible, tel qu'il est exprimé par une élasticité de la production non souhaitable. Dans l'une ou l'autre de ces situations, les coûts implicites augmentent souvent lorsqu'une réglementation entre en vigueur, lorsqu'elle est renforcée ou lorsque la conformité à une réglementation existante s'améliore (Cárdenas Rodríguez, Hašič et Souchier, 2016).

2.1 L'estimation des coûts implicites des produits non souhaitables

La méthodologie utilisée dans deux études récentes de l'OCDE, soit celle de Brandt, Schreyer et Zipperer (2014) ainsi que celle de Dang et Mourougane (2014), pour estimer les coûts implicites des produits non souhaitables est adoptée dans la présente étude. Dans leur approche, les coûts implicites des produits non souhaitables sont calculés paramétriquement en utilisant une fonction de distance de la production. On présume que tous les producteurs fonctionnent à la frontière des possibilités de production, ce qui laisse supposer que tous les producteurs sont parfaitement efficaces techniquement et qu'ils maximisent les profits en tenant compte des coûts de réduction des produits non souhaitables. À l'instar de l'étude menée par Brandt, Schreyer et Zipperer (2014), la présente étude a recours aux coûts implicites estimés dans un cadre d'analyse causale de la croissance pour dériver des estimations de la croissance de la PMFAE du secteur de la fabrication du Canada. La présente étude va plus loin que celles de Brandt, Schreyer et Zipperer (2014) et de Dang et Mourougane (2014) en utilisant des microdonnées au niveau de l'établissement pour rendre compte de l'hétérogénéité de l'établissement.

La dernière partie de la présente section expose la méthodologie employée pour estimer les coûts implicites des produits non souhaitables ainsi que le cadre de l'analyse causale de la croissance, les produits non souhaitables étant utilisés pour estimer la croissance de la PMFAE.

2.2 Un cadre pour estimer la croissance de la productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement

Le cadre d'analyse causale de la croissance commence par la mesure de la croissance de la production souhaitable (Y) exprimée comme le changement du logarithme de la production souhaitable et divisée par le changement au fil du temps, t , comme l'illustre la partie de gauche de l'équation (1).

$$\frac{\partial \ln Y}{\partial t} = \frac{P_L L}{P_Y Y} \frac{\partial \ln L}{\partial t} + \frac{P_K K}{P_Y Y} \frac{\partial \ln K}{\partial t} + \frac{P_M M}{P_Y Y} \frac{\partial \ln M}{\partial t} + \frac{\partial \ln PMF}{\partial t}. \quad (1)$$

La croissance de la production souhaitable, $\partial \ln Y / \partial t$, peut être divisée en la somme des contributions résultant de la croissance des facteurs de production, notamment les intrants travail (L), capital (K) et intermédiaires (M), ainsi que la croissance de la productivité multifactorielle (PMF), qui représente les changements dans l'efficacité et les percées technologiques.² Les contributions des intrants travail, capital et intermédiaires sont multipliées par leurs facteurs de pondération respectifs, représentés par leurs parts nominales dans la production souhaitable. Les parts nominales sont exprimées par $P_L L / P_Y Y$ pour le travail (où P_L est le taux salarial et P_Y est le prix de la production souhaitable), $P_K K / P_Y Y$ pour le capital (où P_K est le taux de location du capital) et $P_M M / P_Y Y$ pour les intrants intermédiaires (où P_M est le prix des intrants intermédiaires). Si l'on présume une concurrence parfaite, ces parts peuvent être considérées comme les produits marginaux des intrants travail, capital et intermédiaires, respectivement. Elles représentent aussi l'élasticité de la production souhaitable par rapport aux intrants factoriels.

La décomposition de la croissance de la production souhaitable en contributions de la croissance des intrants et de la croissance de la PMF permet à la croissance de la PMF d'être estimée par voie résiduelle en réarrangeant l'équation (1), puisque les données sur la production souhaitable, sur les intrants travail, capital et intermédiaires ainsi que sur leurs prix sont déjà accessibles dans la base de données KLEMS (capital, travail, énergie, matériel, services) :³

$$\frac{\partial \ln PMF}{\partial t} = \frac{\partial \ln Y}{\partial t} - \frac{\partial \ln Z}{\partial t}. \quad (2)$$

Fait à noter, les intrants factoriels sont agrégés, de sorte que

$$\frac{\partial \ln Z}{\partial t} = \frac{P_L L}{P_Y Y} \frac{\partial \ln L}{\partial t} + \frac{P_K K}{P_Y Y} \frac{\partial \ln K}{\partial t} + \frac{P_M M}{P_Y Y} \frac{\partial \ln M}{\partial t}.$$

Cette approche peut être ajustée pour tenir compte de l'incidence de l'activité économique sur l'environnement en représentant la valeur de la production totale comme la valeur combinée des produits souhaitables et non souhaitables, exprimée par $P_Y Y + P_R R$, où P_R est le prix d'un produit non souhaitable donné à estimer et R est la quantité observée de produits non souhaitables mesurée en tonnes. La valeur de la production nominale totale est inférieure à celle de la production souhaitable nominale, puisque le prix de la production non souhaitable, P_R , est habituellement négatif, ce qui est le signe qu'il est un sous-produit non voulu du processus de production.

2. Cela suppose que les entreprises fonctionnent à rendements d'échelle constants dans les trois intrants factoriels, le capital, le travail et les intrants intermédiaires et que tous les marchés pour les facteurs de production sont parfaitement concurrentiels.

3. Consulter la section 3 pour obtenir plus de renseignements sur la base de données KLEMS.

La contribution des changements dans la production souhaitable et non souhaitable à la croissance de la production totale peut être exprimée comme suit :

$$\frac{\partial \ln Q(Y, R)}{\partial t} = \frac{P_Y Y}{P_Y Y + P_R R} \frac{\partial \ln Y}{\partial t} + \frac{P_R R}{P_Y Y + P_R R} \frac{\partial \ln R}{\partial t}, \quad (3)$$

où la production totale est définie par $Q(Y, R)$; sa croissance, $\partial \ln Q(Y, R) / \partial t$, est équivalente à la croissance nominale pondérée des produits souhaitables et non souhaitables.

Le remplacement du terme de croissance de la production $\partial \ln Y / \partial t$ dans l'équation (2) par la partie de droite de l'équation (3) produit une expression qui mesure la croissance de la PMFAE :

$$\frac{\partial \ln PMFAE}{\partial t} = \frac{P_Y Y}{P_Y Y + P_R R} \frac{\partial \ln Y}{\partial t} + \frac{P_R R}{P_Y Y + P_R R} \frac{\partial \ln R}{\partial t} - \frac{\partial \ln Z}{\partial t}. \quad (4)$$

L'équation (4) peut être simplifiée en réarrangeant les termes :

$$\frac{\partial \ln PMFAE}{\partial t} = \frac{PMF}{\partial t} - S_R \left(\frac{\partial \ln Y}{\partial t} - \frac{\partial \ln R}{\partial t} \right), \quad (5)$$

où $S_R = P_R R / (P_Y Y + P_R R)$ est la part de la production non souhaitable de la production totale. Malheureusement, les prix des produits non souhaitables ne sont pas observés et, par conséquent, ils doivent être estimés. Pour ce faire, l'approche utilisée par Brandt, Schreyer et Zipperer (2014) et par Dang et Mourougane (2014) est adoptée. Ces derniers commencent par définir une technologie de production pour un ensemble de produits, comme suit :

$$P(Z) = \{Y, R \mid Z \text{ peut produire}(Y, R)\}, \quad (6)$$

qui indique que la technologie de production peut produire un produit souhaitable Y et un produit non souhaitable R en utilisant les intrants Z . On présume que la technologie de production satisfait aux axiomes que l'on trouve dans Färe et Primont (1995).

La fonction production présentée dans l'équation (6) peut être exprimée comme équivalent à une fonction de distance de la production⁴ définie par Shephard (1970) pour estimer le taux marginal de transformation (TMT) entre les produits souhaitables et non souhaitables. Cela établit un lien entre le coût implicite de la production non souhaitable et celui de la production souhaitable. La fonction de distance de la production est l'inverse de la proportion dans laquelle la production du produit total pourrait être accrue tout en demeurant à l'intérieur de la production faisable déterminée par un ensemble donné d'intrants (Coelli et Perelman, 1996).⁵ Elle est exprimée par :

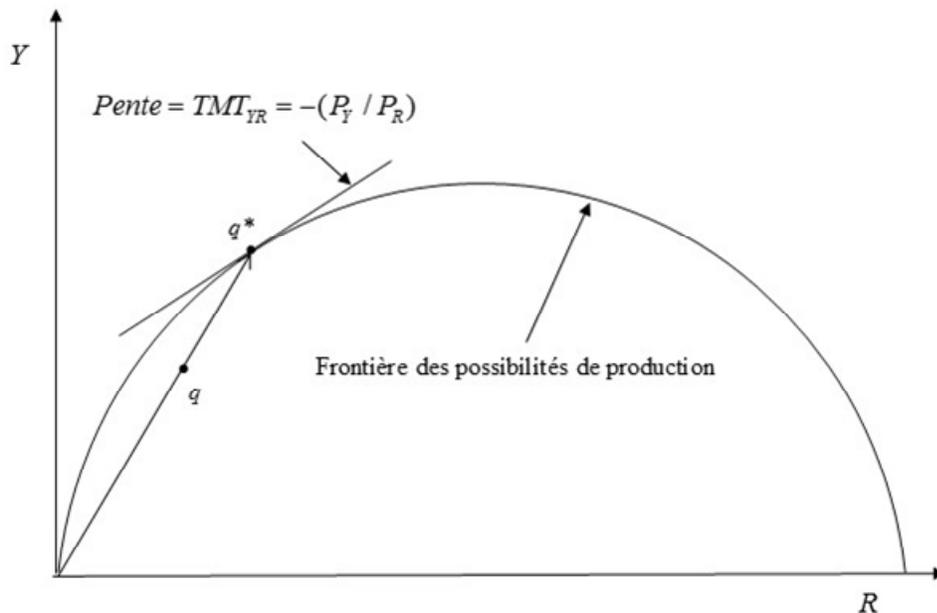
$$D_o(Y, R, Z) = \inf \{ \theta > 0 : (Y / \theta, R / \theta, Z) \in P(Z) \}. \quad (7)$$

4. L'inf, ou borne inférieure, est similaire au minimum, mais peut être définie plus simplement comme le plus grand nombre qui est inférieur à tous les autres nombres de l'ensemble de production. On l'appelle parfois la plus grande borne inférieure.

5. Pour avoir un aperçu des fonctions de distance, consulter Coelli et coll. (2005).

La valeur de la fonction de distance de la production varie de 0 à 1. Si la production totale $D_o(Y, R, Z)$ est située sur la fonction production, qui peut être représentée graphiquement au point q^* dans la figure 1, alors $D_o(Y, R, Z) = 1$. Cependant, si la production totale est située sur la portion intérieure de la production établie au point q , alors $D_o(Y, R, Z) = \theta = < 1$. La fonction de distance peut être imaginée comme un rayon qui part de l'origine, où la production à q^* signifie $D_o(Y, R, Z) = \theta = q^* / q^* = 1$, tandis qu'à q , $D_o(Y, R, Z) = \theta = q / q^* < 1$. La fonction de distance est homogène au degré 1 de la production souhaitable et des produits non souhaitables : non décroissante dans la production souhaitable et non croissante dans la production non souhaitable et les intrants factoriels. La fonction de distance démontre aussi une faible possibilité d'élimination, ce qui signifie qu'un établissement peut réduire la production non souhaitable uniquement en réduisant simultanément la production souhaitable (Coelli et Perelman 1996, 1999).

Figure 1
Une frontière des possibilités de production, produits souhaitables et non souhaitables



Source : Statistique Canada, interprétation des auteurs.

La pente de $P(Y, R, Z)$ au point q^* représente le TMT entre les produits R et Y , ce qui équivaut au ratio des prix de la production souhaitable au prix d'un produit non souhaitable donné. Il se calcule comme suit

$$TMT_{YR} = \frac{\frac{\partial D_o(Y, R, Z)}{\partial Y}}{\frac{\partial D_o(Y, R, Z)}{\partial R}} \quad (8)$$

Fait à noter, peu importe si la production a lieu à q^* ou à q , rendant compte des changements dans l'efficacité de la production, le TMT_{YR} n'est aucunement touché. Par conséquent, en présumant une efficacité parfaite, comme cela est habituellement le cas dans un cadre d'analyse causale de la croissance pour estimer la croissance de la PMF, cela n'a aucune incidence sur la manière de dériver les coûts implicites pour les produits non souhaitables.

L'objectif consiste donc à estimer la fonction de distance de la production, en prenant les dérivées partielles par rapport aux produits souhaitables et non souhaitables (Aiken et Pasurka, 2003). Malheureusement, la fonction de distance de la production, à l'instar du prix des produits non souhaitables, n'est pas directement observable. Toutefois, si l'on présume que la fonction de distance de la production est homogène avec le degré 1 des produits souhaitables et non souhaitables (Färe et Grosskopf, 1990; Färe et coll., 1993), elle peut être représentée comme suit :

$$D_o(Y, R, Z) = YD_o(1, R/Y, Z). \quad (9)$$

En prenant des mesures, en réarrangeant les termes et en additionnant t pour refléter la structure tabulaire des données, on obtient l'expression suivante :

$$-\ln(Y) = \ln D_o(1, R/Y, Z, t) - \ln D_o(Y, R, Z, t). \quad (10)$$

La fonction de distance de la production peut être représentée sous une forme de Cobb–Douglas où la fonction de distance $\ln D_o(Y, R, Z, t)$ enregistrée dans la partie de droite de l'équation (10) représente l'inefficacité, que l'on présume être zéro dans un cadre d'analyse causale de la croissance normalisé. Après division selon le temps et inclusion des effets fixes de l'établissement, β_i , et d'un terme de bruit aléatoire, ε_{it} , l'équation 10 prend la forme suivante :

$$\frac{\partial \ln Y_{it}}{\partial t} = \beta_i + \beta_Z \frac{\partial \ln Z_{it}}{\partial t} + \beta_R \frac{\partial \ln (R_{it}/Y_{it})}{\partial t} + \beta_i t + \varepsilon_{it} \quad (11)$$

où $\beta_Z = -\partial \ln D_o / \partial \ln Z_{it} \geq 0$ et $\beta_R = -\partial \ln D_o / \partial \ln R_{it} \geq 0$.

Le réarrangement des termes pour séparer les produits souhaitables et non souhaitables donne une équation qui peut être estimée par :

$$\frac{\partial \ln Y_{it}}{\partial t} = \alpha_i + \alpha_Z \frac{\partial \ln Z_{it}}{\partial t} + \alpha_R \frac{\partial \ln R_{it}}{\partial t} + \alpha_i t + \varepsilon_{it}, \quad (12)$$

où α_Z et α_R sont équivalents à $\beta_Z / (1 + \beta_R)$ et $\beta_R / (1 + \beta_R)$, respectivement.

Le temps t , mesuré en années, est également inclus pour représenter le changement technique comme tendance temporelle, et α_i rend compte des effets fixes de l'établissement.

Comme le mentionnent Brandt, Schreyer et Zipperer (2014), il serait souhaitable de profiter d'une forme fonctionnelle plus souple, comme une fonction translog. En particulier, ceux-ci se disent préoccupés par le fait que la forme Cobb–Douglas ne convienne pas pour une fonction de distance de la production, car elle enfreint la condition stipulant que la fonction de distance des produits est convexe. Bien que Coelli et Perelman (1996) soulèvent aussi de telles préoccupations, ils indiquent que le problème n'est pas particulièrement grave lorsque l'intérêt premier est d'obtenir des mesures techniques comme des estimations d'efficacité. Sur un plan plus pratique, la formule de Cobb–Douglas est préférée à la fonction translog, car à l'instar des

conclusions de Brandt, Schreyer et Zipperer (2014), les résultats d'une fonction translog sont presque universellement statistiquement non significatifs et produisent fréquemment des coûts implicites positifs pour les produits non souhaitables, ce qui a peu de sens du point de vue économique. Ces résultats se produisent, que la fonction translog soit précisée par les intrants capital, travail et intermédiaires séparément ou par un seul intrant agrégé (tel qu'il est exprimé dans l'équation [12]), et par un seul produit non souhaitable ou par diverses combinaisons de multiples produits non souhaitables.

Selon Brandt, Schreyer et Zipperer (2014), le coût implicite du produit non souhaitable est calculé comme la solution au problème de maximisation du revenu sur l'unité de production⁶ qui relie la fonction de distance située à la frontière de l'efficacité à l'élasticité du produit souhaitable par rapport à un produit non souhaitable, α_R , dans l'équation (12).⁷ Le coût implicite peut ainsi être exprimé comme suit :

$$P_R = -P_Y \frac{Y}{R} \alpha_R. \quad (13)$$

En disposant des coûts implicites des produits non souhaitables, il est possible d'estimer les taux de croissance de la PMFAE de l'équation (5) aux fins de comparaison avec les estimations officielles de la PMF.

3 Données

Il a été possible d'estimer la PMFAE grâce à l'élaboration de l'ensemble de données couplées INRP-PDGES-EAMEF. Cet ensemble de données est la source d'information la plus complète sur les produits et la production non souhaitables du secteur de la fabrication du Canada. Il comprend les émissions, les activités de réduction, les ventes, l'emploi et les frais de production propres à l'usine de nombreux grands producteurs de produits non souhaitables chez les fabricants canadiens pour la période allant de 2001 à 2012. L'ensemble de données combine l'information tirée de trois sources : l'Inventaire national des rejets de polluants (INRP), le Programme de déclaration des gaz à effet de serre (PDGES) et l'Enquête annuelle sur les manufactures et l'exploitation forestière (EAMEF), rendant possibles des recherches liées à l'interaction de l'activité économique et de l'environnement au niveau de l'établissement.

Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) recueille annuellement des données sur la pollution et les émissions de GES en vertu de l'autorité de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (1999). Le PDGES et l'INRP ont été établis en vertu de cette loi. Selon ECCC (2015), tous les établissements industriels (et non seulement les fabricants) qui respectent certains critères et des seuils de rejet doivent déclarer annuellement à ECCC leurs émissions de divers GES (pour le PDGES) et de plus de 300 polluants (pour l'INRP).

Chacun des ensembles de données comporte des renseignements pour différents niveaux d'organisations commerciales. L'EAMEF est une enquête fondée sur les établissements, tandis que l'INRP et le PDGES sont fondés sur des installations. Une installation est potentiellement une unité d'observation plus petite qu'un établissement. Par conséquent, certains établissements de l'EAMEF comprennent une ou plusieurs installations dans l'INRP et le PDGES. Lorsqu'un

6. Comme le mentionnent Dang et Mourougane (2014), l'analyse dans un environnement à produits multiples dans lequel la production génère des produits souhaitables et non souhaitables qui ne peuvent être librement éliminés repose généralement sur la dualité entre la fonction de distance de la production et la fonction de revenu pour dériver les coûts implicites (Shephard, 1970).

7. Consulter les annexes 1 et 3 de Brandt, Schreyer et Zipperer (2014), ainsi que Dang et Mourougane (2014), pour obtenir une explication détaillée du calcul.

établissement dans l'EAMEF est associé à de multiples installations, les rejets de polluants sont agrégés au niveau de l'établissement.

La couverture des installations de l'INRP est différente de celle du PDGES, principalement en raison des différences dans les critères d'inclusion précisés pour l'INRP et les seuils de rejet pour l'INRP et le PDGES. Toutes les installations qui émettent des GES au-delà du seuil de déclaration minimum doivent les déclarer dans le cadre du PDGES, même si toute installation peut volontairement déclarer ses émissions. Le seuil de déclaration minimum de 2004 à 2008 était de 100 000 tonnes de GES en unités d'équivalents en dioxyde de carbone. Après 2008, le seuil est descendu à 50 000 tonnes. Pour veiller à ce que les changements dans les seuils d'émission de GES ne faussent pas les résultats, seuls les établissements qui émettaient 100 000 tonnes ou plus ont été inclus dans l'analyse pour la période de neuf ans au complet. Cela réduit le nombre total d'observations de 27 % à 29 % pour chacun des quatre types d'émissions de GES examinées.

Les conditions d'inclusion dans l'INRP sont fondées aussi bien sur la quantité émise d'un polluant donné que sur la taille de l'installation (mesurée par l'emploi). En général, les grandes installations dont les émissions dépassent un seuil d'émission minimum sont tenues de déclarer leurs émissions. Le seuil d'émission minimum varie selon le polluant. Pour certaines substances, on pourra utiliser un seuil de concentration minimum au lieu d'un seuil de rejet minimum. Les installations qui ne répondent pas aux critères d'inclusion peuvent tout de même volontairement faire part de leurs émissions à l'INRP. Les critères d'inclusion utilisés dans l'INRP sont les suivants :

1. Les usines qui emploient plus de 10 travailleurs (équivalents temps plein) doivent présenter un rapport à l'INRP pour chaque polluant qu'elles émettent au-delà du seuil d'émission minimum (ou du seuil de concentration minimum).
2. Les usines qui emploient moins de 10 travailleurs (équivalents temps plein) et exploitent un appareil qui utilise un intrant à carburant fossile (p. ex. une chaudière ou une génératrice) doivent présenter un rapport à l'INRP pour chacun des PCA émis au-delà du seuil de rejet minimum.
3. Les usines qui emploient moins de 10 travailleurs (équivalents temps plein) et n'exploitent aucun appareil qui utilise un intrant à carburant fossile n'ont pas à présenter de rapports à l'INRP.

Toute usine qui émet en-deçà du seuil de rejet minimum ou du seuil de concentration minimum pour un polluant donné n'a pas à présenter de rapport sur ce polluant à l'INRP.

En 2006, 15 composés organiques volatils (COV) supplémentaires ont été ajoutés à la liste de polluants pour lesquels les établissements étaient tenus de produire des rapports si leurs émissions dépassaient les seuils précisés. Cependant, ces polluants supplémentaires n'ont pas contribué dans une large mesure aux rejets totaux de COV dans le secteur de la fabrication, car de nombreuses entreprises ont présenté des rapports sur ces polluants avant 2006. Cela explique pourquoi les rejets de ces 15 COV n'ont augmenté que de 2,4 % de 2005 à 2006. Cette hausse représente 0,1 % des rejets totaux de COV, comparativement aux niveaux de COV en 2005. Ainsi, l'inclusion de COV supplémentaires en 2006 n'a eu aucune répercussion notable sur le coût implicite des COV ou sur sa croissance de la PMF connexe.

L'EAMEF est une enquête annuelle sur les industries manufacturières du Canada. Elle vise tous les établissements de fabrication ainsi que les sièges sociaux, les bureaux de ventes et les unités auxiliaires connexes qui ont été classés comme des industries de fabrication. Les renseignements détaillés qui y sont recueillis comprennent notamment les principales statistiques industrielles (comme celles portant sur les livraisons, l'emploi, les salaires et traitements, le coût des matières premières et fournitures utilisées, le coût du carburant et de l'électricité achetés et

utilisés, les stocks et les biens achetés pour la revente) et les données sur les produits de base, y compris les livraisons ou la consommation de produits particuliers.

Idéalement, les données au niveau de l'établissement pour les prix du PIB, de la production brute et des intrants capital, travail et intermédiaires seraient utilisées. Cependant, de tels renseignements détaillés sur les prix sont rarement accessibles. C'est pourquoi les données sur les prix propres à l'industrie pour les codes à trois chiffres du Système de classification des industries de l'Amérique du Nord des comptes annuels de la productivité multifactorielle de Statistique Canada (également appelés « base de données KLEMS »), tableau 36-10-0217-01 (Statistique Canada, n.d.) (anciennement le tableau CANSIM 383-0032) ont été utilisées.

4 Résultats empiriques du secteur canadien de la fabrication

Les résultats du secteur canadien de la fabrication sont présentés pour les années allant de 2004 à 2012. Les émissions de produits non souhaitables ont été divisées en deux catégories principales, les GES et les PCA. Les résultats sont fournis pour les GES totaux, ainsi que pour trois sous-éléments principaux : le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et l'oxyde nitreux (N₂O). Les résultats pour les PCA comprennent les matières particulaires totales (MPT), les matières particulaires de 10 microns de diamètre ou moins (MP₁₀), les matières particulaires de 2,5 microns de diamètre ou moins (MP_{2,5}), le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NO_x), les composés organiques volatils (COV), le monoxyde de carbone (CO) et l'ammoniac (NH₃)⁸. Consulter le tableau 1 pour obtenir un résumé des abréviations.

Tableau 1
Abréviations et noms, produits non souhaitables, fabrication

Abréviation	Nom
GES	Gaz à effet de serre ¹
CO ₂	Dioxyde de carbone
N ₂ O	Oxyde de diazote
CH ₄	Méthane
PCA	Principaux contaminants atmosphériques
CO	Monoxyde de carbone
NO _x	Oxydes d'azote
SO ₂	Dioxyde de soufre
MPT	Matières particulaires totales
MP ₁₀	Matières particulaires de 10 microns de diamètre ou moins
MP _{2,5}	Matières particulaires de 2,5 microns de diamètre ou moins
COV	Composés organiques volatils
NH ₃	Ammoniac

1. Tous les rejets de gaz à effet de serre sont mesurés en équivalent en dioxyde de carbone.

Source : Statistique Canada, tableau de l'auteur.

4.1 Émissions de produits non souhaitables

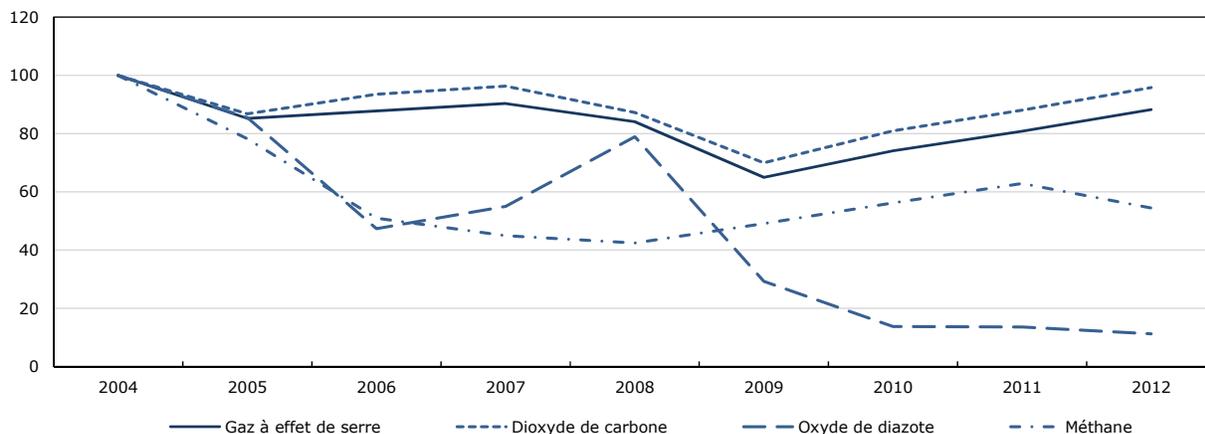
Les émissions totales de GES dans le secteur de la fabrication — qui sont en grande partie constituées de trois des gaz les plus importants, CO₂, CH₄ et N₂O, en mesures d'équivalent en dioxyde de carbone — étaient plus faibles en 2012 qu'en 2004. Cette baisse correspond dans une certaine mesure à la baisse séculaire de la fabrication depuis le début des années 2000. Le léger regain des émissions de GES après la crise financière et la récession de 2008-2009

8. Les émissions de NH₃ comprennent uniquement les rejets directs dans l'air, puisque les rejets de NH₃ dans les sols et dans l'eau ne contribuent pas considérablement aux PCA.

s'explique principalement par la hausse des émissions de CO₂ et de CH₄. En revanche, les émissions de N₂O ont continué de baisser (graphique 1).

Graphique 1
Rejets de gaz à effet de serre, fabrication, 2004 à 2012

indice (2004 = 100)



Note : Tous les rejets de gaz à effet de serre sont mesurés en équivalent de dioxyde de carbone.

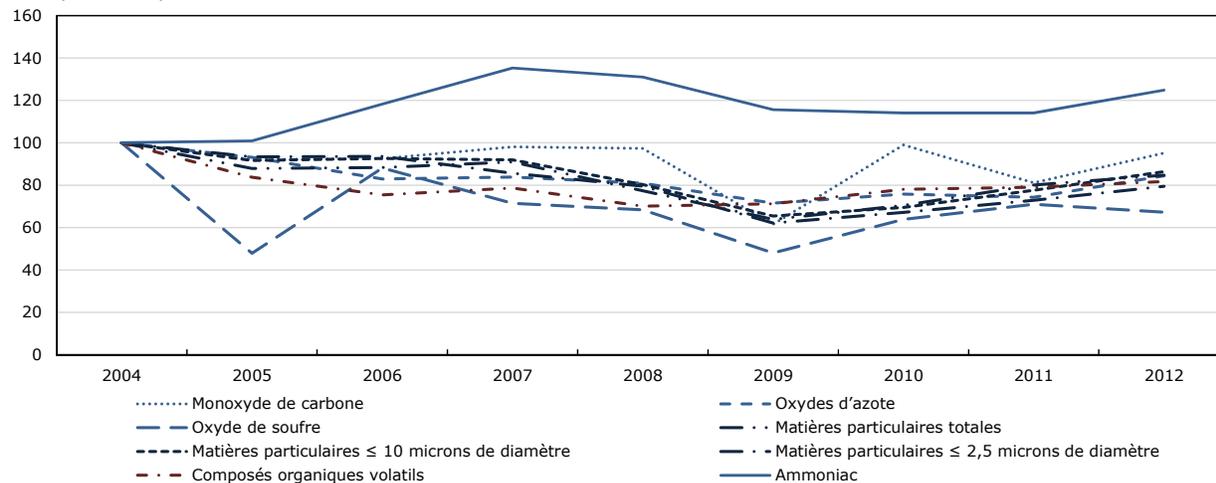
Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur les données couplées de l'Inventaire national des rejets de polluants, du Programme de déclaration des gaz à effet de serre, de l'Enquête annuelle sur les manufactures et l'exploitation forestière et du tableau 36-10-0217-01 de Statistique Canada.

D'autres GES non présentés au graphique 1 comprennent notamment les hydrurofluorocarbones, l'hexafluorure de soufre et les perfluorocarbones. L'information sur l'hexafluorure de soufre et les perfluorocarbones ne peut être diffusée pour des raisons de confidentialité, tandis que les quantités d'hydrurofluorocarbones rejetées étaient relativement faibles, leur part représentant des quantités négligeables par rapport aux émissions totales de GES.

À l'instar des tendances pour les GES, les émissions de PCA dans le secteur de la fabrication ont présenté une tendance à la baisse de 2004 jusqu'à la récession de 2008-2009, avant de rebondir légèrement jusqu'en 2012. Le graphique 2 montre les tendances des émissions de huit PCA : MPT, MP₁₀, MP_{2,5}, SO₂, NO_x, COV, CO et NH₃.

Graphique 2
Rejets indexés de principaux contaminants atmosphériques, fabrication, 2004 à 2012

indice (2004 = 100)



Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur les données couplées de l'Inventaire national des rejets de polluants, du Programme de déclaration des gaz à effet de serre, de l'Enquête annuelle sur les manufactures et l'exploitation forestière et du tableau 36-10-0217-01 de Statistique Canada.

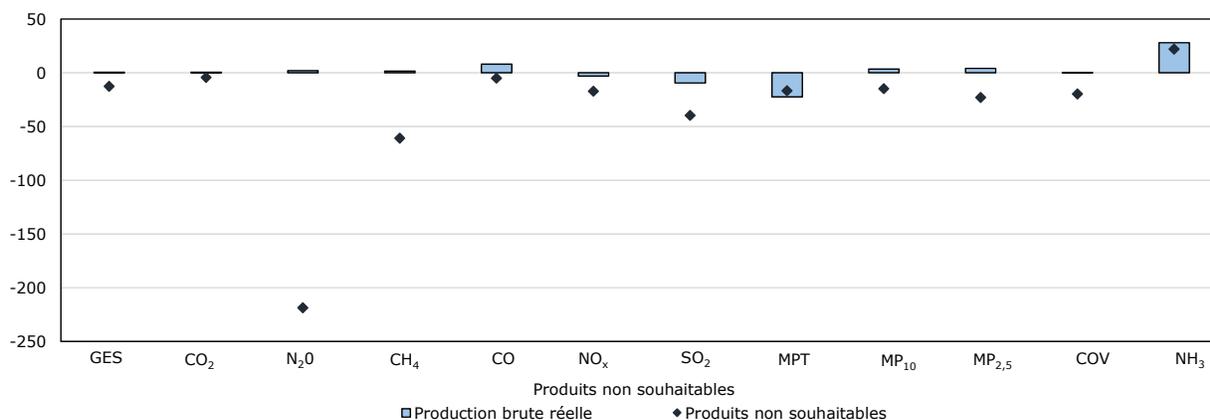
Les variations des émissions de PCA au cours de la période de neuf ans révèlent une tendance générale à la baisse, à l'exception du NH₃. Fait à noter, pendant la période allant de 2007 à 2009, le taux de réduction annuel composé pour l'ensemble des huit produits non souhaitables était en moyenne de 13,3 %, soit une réduction près de 13 fois plus rapide que pour la période au complet. Cela donne à penser que la récession de 2008-2009 a été fortement liée aux niveaux d'émissions.

Les taux de croissance des produits souhaitables et non souhaitables sont indiqués au graphique 3. Les taux de croissance des produits souhaitables diffèrent pour chaque produit non souhaitable, car un établissement qui produit du CO₂, par exemple, pourrait produire seulement certains des autres produits non souhaitables ou aucun de ces produits. Par conséquent, le calcul de la croissance de la production brute réelle liée au CO₂ comprend uniquement les établissements qui déclarent des émissions de CO₂. De 2004 à 2012, les taux de croissance de tous les produits non souhaitables examinés (GES et PCA) étaient inférieurs aux taux de croissance des produits souhaitables (production brute réelle), à l'exception des MPT. Autrement dit, les plus grands émetteurs de produits non souhaitables dans le secteur de la fabrication au Canada ont vu l'intensité de leurs produits non souhaitables diminuer, en moyenne, pour la plupart des GES et des PCA.

Graphique 3

Croissance annuelle composée des émissions de gaz à effet de serre et de principaux contaminants atmosphériques et production brute réelle, fabrication, 2004 à 2012

pourcentage



Notes : Consulter le tableau 1 pour connaître les abréviations et les noms des produits non souhaitables.

Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur les données couplées de l'Inventaire national des rejets de polluants, du Programme de déclaration des gaz à effet de serre, de l'Enquête annuelle sur les manufactures et l'exploitation forestière et du tableau 36-10-0217-01 de Statistique Canada.

4.2 Résultats estimatifs pour les produits non souhaitables

L'équation (12) a été estimée par régression à effets fixes de données de panel. En raison du grand nombre de produits non souhaitables et du fait que les tailles d'échantillon pour de nombreux produits non souhaitables et sous-secteurs de la fabrication peuvent réduire la robustesse des estimations, l'approche adoptée dans le présent article suit celle de Brandt, Schreyer et Zipperer (2014) et de Dang et Mourougane (2014). Dans cette approche, les coefficients pour les produits non souhaitables sont estimés individuellement dans des régressions distinctes. Le tableau 2 montre les coefficients pour la croissance de la production non souhaitable, le changement technique et les calculs connexes pour chaque produit non souhaitable résultant des estimations distinctes.

Tableau 2

Résultats des estimations pour les produits non souhaitables, fabrication, de 2004 à 2012

Produits non souhaitables	Croissance de la production non souhaitable		Changement technique		Test F pour les rendements d'échelle constants	Observations	Coût implicite des produits non souhaitables
	coefficient	erreur-type	coefficient	erreur-type	valeur de p	nombre	dollars de 2012 / tonne
GES	0,233	0,040	0,002	0,004	0,000	548	-389,87
CO ₂	0,260	0,042	0,002	0,004	0,000	549	-453,05
N ₂ O	0,004	0,012	0,002	0,004	0,104	468	-1 002,38
CH ₄	0,015	0,010	0,002	0,004	0,061	475	-3 611,29
CO	0,047	0,012	0,002	0,003	0,000	1 375	-19 950,05
NO _x	0,022	0,014	0,002	0,002	0,000	1 510	-34 874,77
SO ₂	0,005	0,008	0,003	0,003	0,000	913	-1 489,13
MPT	0,027	0,012	0,002	0,003	0,000	1 405	-69 665,77
MP ₁₀	0,036	0,009	0,001	0,002	0,000	1 936	-229 573,26
MP _{2,5}	0,025	0,008	0,001	0,002	0,000	1 934	-260 041,91
COV	0,062	0,012	0,003	0,003	0,000	1 446	-211 975,14
NH ₃	0,017	0,012	0,004	0,005	0,231	461	-91 779,94

Note : Consulter le tableau 1 pour connaître les abréviations et les noms des produits non souhaitables.

Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur les données couplées de l'Inventaire national des rejets de polluants, du Programme de déclaration des gaz à effet de serre, de l'Enquête annuelle sur les manufactures et l'exploitation forestière et du tableau 36-10-0217-01 de Statistique Canada.

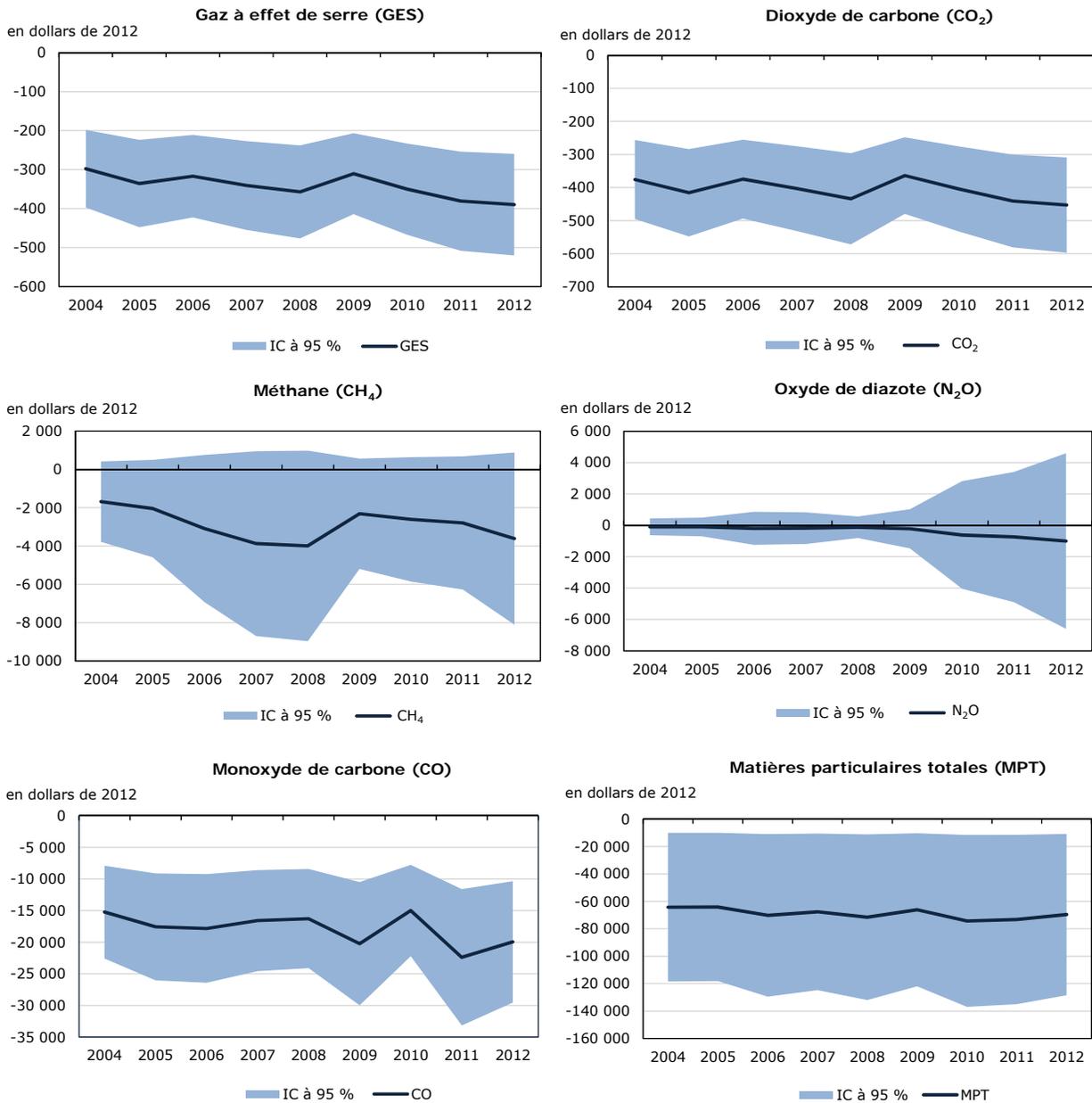
Par souci de cohérence avec un cadre d'analyse causale de la croissance, comme celui de Brandt, Schreyer et Zipperer (2014), une hypothèse de base requise pour estimer les prix implicites des produits non souhaitables au moyen d'une fonction de distance de la production est celle des rendements d'échelle constants dans les trois intrants factoriels, soit les intrants capital, travail et intermédiaires. Selon les résultats du test F donnés au tableau 2, l'hypothèse nulle selon laquelle la technologie de production présente des rendements constants à l'échelle n'a pas été rejetée pour le N_2O , le CH_4 et le NH_3 . Cependant, elle a clairement été rejetée pour tous les autres produits non souhaitables. Pour la plupart des émissions, il serait plus approprié d'estimer une fonction de distance de la production sans contrainte. Toutefois, le fait de procéder ainsi irait à l'encontre de l'hypothèse de l'homogénéité du degré 1 de la fonction de distance de la production, ce qui pourrait ensuite donner lieu à des estimations déformées des coûts implicites pour ces produits non souhaitables ainsi qu'à des ajustements environnementaux correspondants à la croissance de la PMF. Cette question est susceptible d'être liée en partie à l'utilisation de données au niveau de l'établissement plutôt que de données hautement agrégées au niveau du pays, pour lesquelles les rendements d'échelle constants n'ont pas été aussi problématiques dans la plupart des études de l'OCDE.⁹

4.3 Coûts implicites estimés pour les produits non souhaitables

Le prix associé à un produit non souhaitable est habituellement négatif; il représente le coût à assumer par les établissements, en production souhaitable réduite, pour réduire la production non souhaitable. La plupart des coûts implicites estimés des produits non souhaitables affichent une tendance à la baisse au fil du temps. Les coûts implicites diminuent (augmentent en valeurs absolues) au cours de la période d'échantillonnage dans son ensemble (graphique 4). Cela est attribuable au fait que l'intensité de production des GES et des PCA dans la fabrication a généralement diminué au cours de la période de neuf ans. L'élasticité des produits non souhaitables est estimée sous forme de coefficients chronologiques fixes; ces estimations contribuent donc aux changements de prix des produits non souhaitables. Parmi les produits non souhaitables examinés, ceux qui étaient statistiquement significatifs à un niveau de signification de 5 % pour un test bilatéral comprenaient les GES, le CO_2 , le CO, les MPT, les MP_{10} , les $MP_{2,5}$ et les COV totaux. La zone ombragée entourant chacun des coûts implicites estimés dans le graphique 4 indique la répartition autour du coût implicite moyen pour un niveau de signification de 5 %.

9. Le règlement de cette question ne fait pas partie de la portée de la présente étude, mais il existe des méthodes permettant d'aborder les rendements d'échelle non constants, qui pourraient comprendre des estimations non paramétriques faisant appel à la méthode d'enveloppement des données ainsi que des estimations paramétriques utilisant l'estimation bayésienne. Qui plus est, les résultats présentés au tableau 2 donnent à penser que l'application des méthodes de fonction de distance qui reposent sur des données agrégées couramment utilisées pour effectuer des comparaisons internationales (Brandt, Schreyer et Zipperer, 2014; Dang et Mourougane, 2014; Cárdenas Rodríguez, Haščič et Souchier, 2016) pourrait masquer des biais sous-jacents qui sont observés uniquement lorsqu'on a recours aux microdonnées.

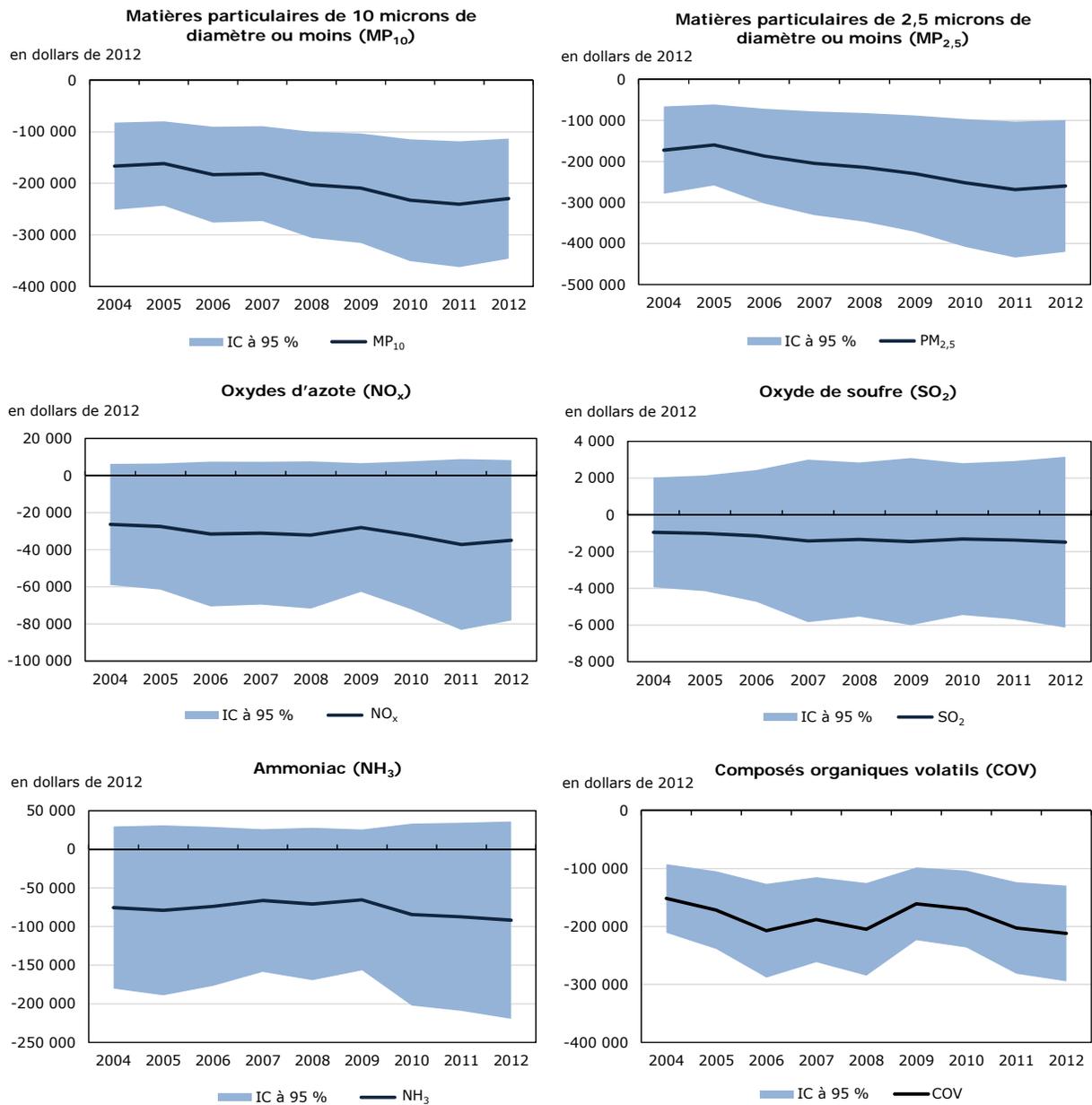
Graphique 4-1
Coûts implicites pour certains produits non souhaitables, fabrication — GES, CO₂, CH₄, N₂O, CO et MPT



Note : IC : Intervalle de confiance.

Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur les données couplées de l'Inventaire national des rejets de polluants, du Programme de déclaration des gaz à effet de serre, de l'Enquête annuelle sur les manufactures et l'exploitation forestière et du tableau 36-10-0217-01 de Statistique Canada.

Graphique 4-2
Coûts implicites pour certains produits non souhaitables, fabrication — PM₁₀, PM_{2,5}, NO_x, SO₂, NH₃ et COV



Note : IC : Intervalle de confiance.
Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur les données couplées de l'Inventaire national des rejets de polluants, du Programme de déclaration des gaz à effet de serre, de l'Enquête annuelle sur les manufactures et l'exploitation forestière et du tableau 36-10-0217-01 de Statistique

Les prix absolus relativement élevés des MP_{2,5}, MP₁₀ et COV reflètent le coût élevé associé à la réduction des émissions de ces produits non souhaitables. En revanche, les résultats donnent à penser que le CO₂ serait beaucoup moins coûteux à réduire. Les émissions de N₂O affichaient un coût relativement bas en 2004, mais tandis qu'elles ont baissé grandement au fil du temps, les coûts de réduction ont augmenté sans commune mesure.

4.4 Comparaison des estimations des coûts implicites d'une étude à l'autre

Les estimations des coûts implicites peuvent varier grandement d'une étude à l'autre, en raison des différences de méthodologie, de portée (industrie ou économie totale), de sources de données et de méthodes d'estimation.

Tableau 3-1
Comparaisons des coûts implicites des produits non souhaitables pour le Canada avec ceux des études de l'OCDE — portée et méthode

Étude	Portée	Méthode
Annexe A, tableau A.1	Fabrication, Canada, Production brute réelle	Estimation paramétrique d'une fonction de distance de la production et d'un cadre d'analyse causale de la croissance
Annexe A, tableau A.1	Fabrication, Canada, produit intérieur brut (PIB) réel	Estimation paramétrique d'une fonction de distance de la production et d'un cadre d'analyse causale de la croissance
Brandt, Schreyer et Zipperer (2014) ¹	Économie totale, Canada, PIB réel	Estimation paramétrique d'une fonction de distance de la production et d'un cadre d'analyse causale de la croissance
Dang et Mourougane (2014)	Économie totale, Canada, PIB réel	Estimation paramétrique d'une fonction de distance de la production
Cárdenas Rodríguez, Haščič et Souchier (2016)	Économie totale, Canada, PIB réel	Estimation paramétrique d'un modèle de coefficient aléatoire et d'un cadre d'analyse causale de la croissance

1. Les prix sont par tonne. Le prix du CO₂ est exprimé en dollars de 2008 pour l'année 2008, tandis que les prix pour le NO_x et le SO₂ sont exprimés en dollars américains de 2005, aussi pour l'année 2008.

Note : OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques. PIB : produit intérieur brut. Consulter le tableau 1 pour connaître les abréviations et les noms des produits non souhaitables.

Sources : Statistique Canada (annexe A, tableau A.1); N. Brandt, P. Schreyer et V. Zipperer, 2014, *Productivity Measurement with Natural Capital and Bad Outputs*; T. Dang et A. Mourougane, 2014, *Estimation des coûts implicites de la pollution dans les économies de l'OCDE*; et Cárdenas Rodríguez, I. Haščič et M. Souchier, 2016, *Productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement : méthodologie et résultats empiriques pour les pays de l'OCDE et du G20*.

Tableau 3-2
Comparaisons des coûts implicites des produits non souhaitables pour le Canada avec ceux des études de l'OCDE — coûts

Étude	Produits non souhaitables					
	CO ₂	CH ₄	COV	NO _x	SO ₂	MP ₁₀
	dollars canadiens de 2012 / tonne					
Annexe A, tableau A.1	-453	-3 611	-211 975	-34 875	-1 489	-229 573
Annexe A, tableau A.1	-14	-263	-411	-1 070	-152	-5 146
	dollars américains de 2008 / tonne			dollars américains de 2005 / tonne		
Brandt, Schreyer et Zipperer (2014) ¹	-130	...	...	-40 000	-15 000	...
	dollars américains de 2005 / tonne					
Dang et Mourougane (2014) ²	-245	...	...	-26 372	...	-17 216
	dollars canadiens de 2012 / tonne					
Cárdenas Rodríguez, Hašič et Souchier (2016) ³	-161	299	-48 158	...	...	...

... n'ayant pas lieu de figurer

1. Les prix sont par tonne. Le prix du CO₂ est exprimé en dollars de 2008 pour l'année 2008, tandis que les prix pour le NO_x et le SO₂ sont exprimés en dollars américains de 2005, aussi pour l'année 2008.

2. Les prix sont par tonne et sont pondérés pour la période de 1990 à 2008. Ils sont exprimés en dollars américains de 2005 à la parité de pouvoir d'achat.

3. Les prix ont été calculés en utilisant les estimations des auteurs du coefficient pour les produits non souhaitables de l'équation (11) et les données tirées de l'Organisation pour la coopération et le développement économiques (OCDE, n.d., « Welcome to OECD.Stat, » *OECD Stat*; consulter les références pour l'adresse URL) pour le produit intérieur brut (PIB) réel (rebasé en dollars canadiens de 2012) et les émissions des produits non souhaitables respectifs.

Notes : Consulter le tableau 1 pour connaître les abréviations et les noms des produits non souhaitables. Les prix ont été calculés en utilisant les estimations des auteurs et les données de l'OCDE (OECD, n.d., « Welcome to OECD.Stat, » *OECD Stat*; consulter les références pour l'adresse URL) pour le produit intérieur brut (PIB) réel (rebasé en dollars canadiens de 2012) et pour les émissions des produits non souhaitables respectifs.

Sources : Statistique Canada, calculs des auteurs (annexe A, tableau A.1) fondés sur les données couplées de l'Inventaire national des rejets de polluants, du Programme de déclaration des gaz à effet de serre, de l'Enquête annuelle sur les industries manufacturières et de l'exploitation forestière et du tableau 36-10-0217-01 de Statistique Canada; N. Brandt, P. Schreyer et V. Zipperer, 2014, *Productivity Measurement with Natural Capital and Bad Outputs*; T. Dang et A. Mourougane, 2014, *Estimation des coûts implicites de la pollution dans les économies de l'OCDE* et Cárdenas Rodríguez, I. Hašič et M. Souchier, 2016, *Productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement : méthodologie et résultats empiriques pour les pays de l'OCDE et du G20*.

Les estimations des coûts implicites peuvent varier d'une étude à l'autre, parce que les périodes examinées diffèrent et, dans le cas de certaines études de l'OCDE, les coûts peuvent être ajustés différemment aux fins de comparabilité entre pays. En outre, les prix des produits non souhaitables dans la présente étude ont tendance à être moindres pour les estimations qui utilisent le PIB réel, car l'intensité des émissions du secteur de la fabrication est supérieure à celle de l'économie dans son ensemble. De plus, les établissements figurant dans la base de données du PDGES et de l'INRP comptent parmi les plus grands émetteurs de produits non souhaitables. L'intensité de leurs produits non souhaitables est supérieure à celle des établissements de fabrication moyens et, par conséquent, est susceptible de contribuer aux coûts implicites absolus inférieurs des produits non souhaitables.

La différence entre les coûts implicites calculés en utilisant la production brute réelle et le PIB réel dans la présente étude est aussi frappante. La différence varie, passant d'une augmentation par 10 du coût implicite pour le SO₂ lorsque la production brute réelle est utilisée comme mesure de la production au lieu du PIB réel à une augmentation par plus de 500 pour les COV. Cette différence donne à penser que l'utilisation d'une mesure plus inclusive de la production et de la

production brute réelle est plus sensible au compromis entre les produits souhaitables et non souhaitables.

4.5 Estimations de la croissance de la productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement

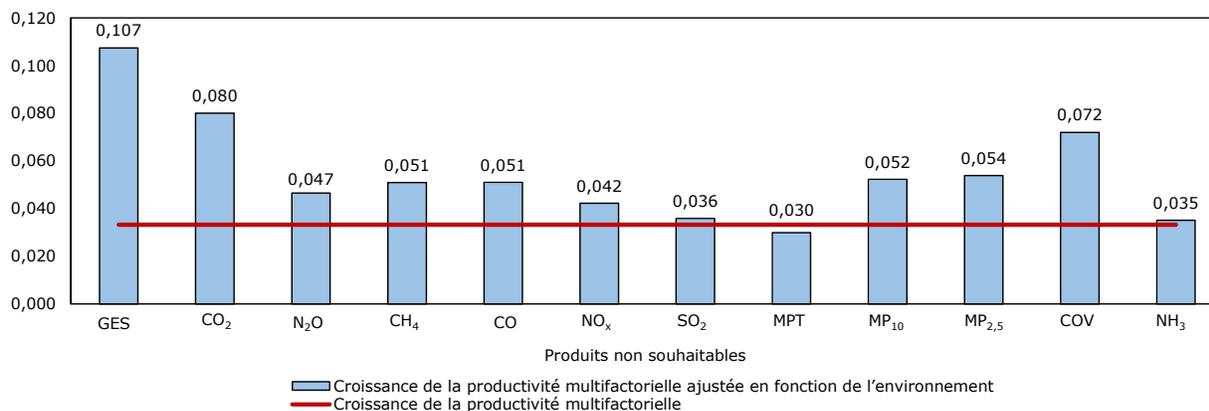
Un ajustement des estimations de la croissance de la PMF est requis lorsque l'on tient compte de la production de produits non souhaitables dans la production. Pour cet ajustement, les estimations de la croissance de la PMF dans le secteur de la fabrication sont tirées des comptes annuels de la productivité multifactorielle de Statistique Canada (aussi appelés « base de données KLEMS »). Plus précisément, cela consiste à prendre la différence entre les taux de croissance estimés de la PMFAE et de la PMF multipliée par la part de la production brute nominale des établissements qui ont déclaré des émissions dans le PDGES ou l'INRP dans la fabrication totale, et à les ajouter à la croissance de la PMF fondée sur la production brute du secteur de la fabrication tirée de la base de données KLEMS. Cela nécessite un ajustement à l'équation (5).

$$\frac{\partial \ln PMFAE}{\partial t} = \frac{PMF}{\partial t} - S_R \left(\frac{\partial \ln Y}{\partial t} - \frac{\partial \ln R}{\partial t} \right) W_R, \quad (14)$$

où W_R représente le ratio de la production brute des établissements déclarant des émissions à la production brute totale pour tous les établissements de fabrication. Les parts des établissements déclarant des émissions dans l'ensemble du secteur de la fabrication déterminées à partir de la production brute nominale et du PIB moyen au cours de la période de 2004 à 2012, sont indiquées au tableau A.2 (annexe A). Les résultats de cet ajustement sont utilisés pour calculer les taux de croissance annuels composés de la PMF et de la PMFAE pour chacun des produits non souhaitables, qui sont présentés dans le graphique 5.

Graphique 5
Croissance annuelle composée de la productivité multifactorielle et de la productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement, fabrication, par produit non souhaitable, 2004 à 2012

pourcentage



Note : Consulter le tableau 1 pour connaître les abréviations et les noms des produits non souhaitables.

Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur les données couplées de l'Inventaire national des rejets de polluants, du Programme de déclaration des gaz à effet de serre, de l'Enquête annuelle sur les manufactures et l'exploitation forestière et du tableau 36-10-0217-01 de Statistique Canada.

L'ajustement individuel pour chacun des produits non souhaitables donne lieu à des estimations similaires ou supérieures de la croissance de la productivité dans le secteur de la fabrication, à l'exception des MPT, qui ont affiché une croissance de la PMFAE légèrement inférieure (0,030 %) à celle de la PMF (0,033 %). Les trois GES CO₂, N₂O et CH₄ ainsi que les COV présentaient les plus grandes différences entre la croissance de la PMF et la croissance de la PMFAE. Il est

évident, selon l'équation (14), que la différence entre la croissance de la PMF et la croissance de la PMFAE est déterminée par trois facteurs. Le premier facteur est la croissance relative de la production souhaitable à non souhaitable, $\partial \ln Y / \partial t - \partial \ln R / \partial t$. Si la production brute réelle augmente plus rapidement que les émissions, la croissance de la PMFAE sera alors supérieure à la croissance de la PMF, ce qui est le cas pour toutes les émissions, excepté celles des MPT. C'est en grande partie pour cette raison que la croissance de la PMFAE ajustée pour tenir compte des GES totaux est beaucoup plus élevée qu'elle ne l'est pour le CO₂. De 2004 à 2012, les émissions des GES totaux ont reculé de 11,7 % comparativement à seulement 4,2 % pour le CO₂, tandis que la production brute réelle a augmenté de 0,5 % pour les établissements déclarants. Le deuxième facteur est la part des produits non souhaitables de la production totale, S_R , qui reflète l'importance relative de l'émission dans la production totale et qui est négative dans toutes les situations de la présente analyse. La part des émissions totales de GES de la production totale était relativement stable, se situant à 30,4 % pour la période de neuf ans. En comparaison, la part du N₂O dans la production totale n'était que de 0,4 %. Le dernier facteur est la part de l'établissement déclarant de la production brute dans le secteur de la fabrication, qui variait selon le type d'émission de 7 % à 27 % en moyenne pendant la période de neuf ans, mais qui était presque identique pour les GES et le N₂O. Par conséquent, même si les émissions de N₂O ont baissé de 95 %, l'ajustement apporté à la croissance de la PMFAE représentait moins du un cinquième de l'ajustement pour les émissions de GES totaux.

Dans l'ensemble, une baisse (augmentation) de l'intensité de la pollution fera en sorte que la croissance de la PMFAE sera plus forte (plus faible) que la croissance de la PMF. Cependant, ce sont à la fois l'importance relative des émissions et l'ampleur du changement dans l'intensité de l'émission qui déterminent l'ampleur de la différence entre la croissance de la PMFAE et la croissance de la PMF. Une forte croissance de la PMFAE, en ce qui a trait aux émissions de GES, par rapport à la mesure normalisée de la croissance de la productivité reflète son importance relative et sa baisse marquée par rapport à une augmentation légère de la production réelle.

La première rangée du tableau 4 montre les taux de croissance annuels de la PMF observés dans le secteur de la fabrication de 2005 à 2012. Au cours des trois années entourant la Grande récession (de 2007 à 2009), la croissance de la PMF a été négative, renforçant l'idée que la productivité est procyclique. Dans les 12 rangées suivantes du tableau 4, les ajustements annuels en points de pourcentage de la croissance de la PMF attribuables à l'ajustement de la croissance de la PMF en fonction de produits non souhaitables donnés sont indiqués. Par exemple, le fait de considérer le CO₂ comme un produit non souhaitable augmenterait la croissance de la PMF de 0,36 point de pourcentage, pour la faire passer de 0,559 % à 0,919 % en 2005. Le fait de tenir compte du N₂O, en revanche, augmenterait la croissance de la PMF de 0,004 point de pourcentage, pour la faire passer de 0,559 % à 0,563 %. La rangée inférieure du tableau 4 montre la contribution moyenne non pondérée à la différence entre la croissance de la PMF et la croissance de la PMFAE pour chacune des années.

Tableau 4**Croissance annuelle de la productivité multifactorielle et ajustements environnementaux apportés à la croissance de la productivité multifactorielle par produit non souhaitable, fabrication**

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	pourcentage							
Croissance de la PMF	0,559	0,104	-0,641	-0,359	-1,932	1,140	0,905	0,524
	ajustement en point de pourcentage de la croissance de la PMF							
Produit non souhaitable								
GES	0,379	-0,294	0,236	0,006	-0,321	0,397	0,144	0,045
CO ₂	0,360	-0,529	0,276	0,127	-0,505	0,395	0,177	0,074
N ₂ O	0,004	0,026	-0,003	-0,022	0,027	0,050	0,008	0,017
CH ₄	0,033	0,070	0,043	-0,003	-0,081	0,020	0,004	0,056
CO	0,122	-0,009	-0,085	-0,063	0,236	-0,317	0,405	-0,148
NO _x	0,010	0,053	-0,013	-0,007	-0,040	0,060	0,048	-0,039
SO ₂	0,002	0,008	0,014	-0,007	0,007	-0,008	-0,001	0,005
MPT	-0,010	0,035	-0,026	0,005	-0,017	0,049	-0,032	-0,031
MP ₁₀	-0,041	0,089	-0,022	0,057	0,061	0,084	-0,017	-0,061
MP _{2,5}	-0,054	0,080	0,046	0,001	0,064	0,051	0,009	-0,032
COV	0,143	0,236	-0,155	0,053	-0,268	0,056	0,194	0,051
NH ₃	0,003	-0,011	-0,016	0,003	-0,005	0,038	-0,003	0,006
Ajustement moyen non pondéré ¹	0,062	0,021	-0,002	0,005	-0,031	0,046	0,083	-0,023

1. Pour éviter la double comptabilisation, la moyenne non pondérée comprend les valeurs pour les GES, mais pas celles pour les sous-composantes.

Notes : Consulter le tableau 1 pour connaître les abréviations et les noms des produits non souhaitables. PMF : productivité multifactorielle.

Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur les données couplées de l'Inventaire national des rejets de polluants, du Programme de déclaration des gaz à effet de serre, de l'Enquête annuelle sur les manufactures et l'exploitation forestière et du tableau 36-10-0217-01 de Statistique Canada.

4.6 Estimations de la croissance de la productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement et des coûts implicites des produits non souhaitables pour les sous-secteurs de la fabrication

Des estimations de la croissance de la PMFAE et des coûts implicites ont été produites pour huit sous-secteurs de la fabrication. Le nombre de produits non souhaitables varie d'un sous-secteur à l'autre, en raison de la disponibilité et de la confidentialité des données pour les produits non souhaitables et l'activité économique. Certains sous-secteurs, comme les deux qui sont affichés au tableau 5, comprennent des renseignements pour l'ensemble des 12 catégories de produits non souhaitables. D'autres sous-secteurs n'ont pas assez d'établissements déclarants ou ne respectent pas les seuils d'émissions qui exigeraient d'eux de déclarer leurs émissions. Des tableaux similaires au tableau 5 sont présentés à l'annexe B pour la plupart des sous-secteurs de la fabrication.

Tableau 5

Estimations de la croissance de la productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement et des coûts implicites des produits non souhaitables

Produit non souhaitable	Fabrication de papier ¹				Fabrication de produits chimiques ²			
	PMF, croissance annuelle composée	PMAE, croissance annuelle composée	Différence	Coût implicite	PMF, croissance annuelle composée	PMAE, croissance annuelle composée	Différence	Coût implicite
	pourcentage			dollars de 2012 / tonne	pourcentage			dollars de 2012 / tonne
GES	0,42	0,38	-0,04	-360	-0,12	-0,07	0,05	-149
CO ₂	0,42	0,41	-0,01	-462	-0,12	-0,22	-0,10	-170
N ₂ O	0,42	0,42	0,00	-87	-0,12	-0,10	0,02	-196
CH ₄	0,42	0,41	-0,02	-413	-0,12	-0,11	0,01	-749
CO	0,42	0,51	0,08	-14 083	-0,12	-0,14	-0,03	-54 533
NO _x	0,42	0,43	0,01	-10 786	-0,12	-0,11	0,00	-15 922
SO ₂	0,42	0,42	0,00	-1 935	-0,12	-0,12	0,00	-3 399
MPT	0,42	0,46	0,04	-23 853	-0,12	-0,13	-0,02	-98 079
MP ₁₀	0,42	0,48	0,06	-48 873	-0,12	-0,12	0,00	-296 294
MP _{2,5}	0,42	0,46	0,04	-49 862	-0,12	-0,10	0,01	-388 650
COV	0,42	0,43	0,00	-68 620	-0,12	-0,13	-0,01	-178 707
NH ₃	0,42	0,43	0,00	-95 242	-0,12	-0,11	0,00	-7 608

1. Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN), sous-secteur 322.

2. SCIAN, sous-secteur 325.

Notes : Consulter le tableau 1 pour connaître les abréviations et les noms des produits non souhaitables. PMAE : productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement. PMF: productivité multifactorielle.

Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur les données couplées de l'Inventaire national des rejets de polluants, du Programme de déclaration des gaz à effet de serre, de l'Enquête annuelle sur les manufactures et l'exploitation forestière et du tableau 36-10-0217-01 de Statistique Canada.

5 Travaux de recherche à venir

Une plus grande prise de conscience de l'interdépendance du rendement économique et environnemental montre clairement que d'autres analyses qui intègrent des renseignements économiques et environnementaux au niveau de l'établissement commercial sont nécessaires. Les résultats fournis dans la présente étude indiquent que le fait de tenir compte des répercussions environnementales des produits non souhaitables peut parfois induire des changements importants de la croissance de la PMF. Toutefois, l'élargissement de l'analyse pour y inclure des industries autres que celle de la fabrication et d'autres produits non souhaitables en plus des GES et des PAC pourrait révéler des incidences plus importantes pour la croissance de la PMFAE. Qui plus est, chacun des produits non souhaitables a été examiné séparément des autres. Idéalement, tous les produits, tant souhaitables que non souhaitables, seraient évalués ensemble dans une seule et même estimation plutôt que séparément, si ce n'était des limites économétriques. Pour régler partiellement cette question, Cárdenas Rodríguez, Haščič et Souchier (2016) utilisent un modèle de coefficient aléatoire pour estimer simultanément les coefficients pour de multiples produits non souhaitables. Cependant, on a découvert que cette approche était moins pratique, car le nombre de produits non souhaitables s'élevait à près d'une douzaine, principalement en raison de problèmes de colinéarité et de taille d'échantillon. Comme l'ont découvert Cárdenas Rodríguez, Haščič et Souchier (2016), un modèle de coefficient aléatoire appliqué aux données utilisées dans la présente analyse a aussi produit des coûts implicites positifs pour certains produits non souhaitables, ce qui va à l'encontre de l'intuition selon laquelle les produits non souhaitables devraient avoir des coûts négatifs.

D'autres travaux pourraient aussi porter sur la manière d'agrèger les produits non souhaitables en ce qui a trait à leurs coûts pour les producteurs et la société. De plus, ils pourraient mettre l'accent sur les interactions entre les produits non souhaitables, les établissements utilisant différentes stratégies de réduction. Par exemple, Murty et Russell (2017) prétendent que de multiples produits non souhaitables peuvent être produits conjointement en l'absence de compromis dans leur production pour un ensemble donné d'intrants, mais ils se concurrencent entre eux si une augmentation des émissions d'un produit non souhaitable réduit les émissions d'un autre produit. Par conséquent, le simple fait d'additionner ensemble des quantités de produits non souhaitables — même lorsque cela est relativement simple, comme c'est le cas des GES mesurés en tant qu'équivalents de CO₂ — pourrait produire des estimations trompeuses des coûts implicites et de la croissance de la PMFAE.

En outre, d'autres méthodes d'estimation des coûts implicites doivent être mises à l'essai afin de valider davantage les résultats observés dans la présente étude. Ces méthodes pourraient comprendre des estimations non paramétriques au moyen de la méthode d'enveloppement des données ainsi que des estimations paramétriques à l'aide de l'estimation bayésienne et de l'analyse de frontière stochastique. D'autres méthodes que l'utilisation d'une fonction de distance de la production de Shephard pour caractériser la production pourraient comporter des fonctions de distance directionnelles et hyperboliques qui sont souvent utilisées dans les méthodes d'enveloppement des données et l'analyse de frontière stochastique.

Un domaine d'examen non abordé dans la présente étude pourrait consister à examiner le rôle des caractéristiques de l'établissement et les incidences des dynamiques de l'entreprise sur le rendement économique et environnemental. L'examen de l'importance relative de différents types d'entreprises (petites entreprises comparativement aux grandes entreprises, entreprises contrôlées à l'étranger par rapport à celles contrôlées au pays et entreprises entrantes et sortantes comparativement aux entreprises établies) pourrait constituer une source d'information précieuse, particulièrement pour l'élaboration d'une politique environnementale. Qui plus est, la présente étude porte sur l'estimation du coût des produits non souhaitables en ce qui a trait à la production, mais ne tente aucunement d'estimer leur coût relativement à la société, ce qui constitue une tâche beaucoup plus complexe.

6 Conclusion

Les produits non souhaitables sont omniprésents dans l'environnement et peuvent, en concentrations suffisantes, avoir d'importantes répercussions sociales et économiques. Une plus grande prise de conscience des incidences possibles des produits non souhaitables sur la longévité et la qualité de vie des personnes a entraîné des améliorations importantes dans la collecte et à l'analyse des données. Les preuves de plus en plus nombreuses donnent à penser que l'économie et l'environnement sont inextricablement liés de telle sorte que de comprendre l'un ou l'autre de ces aspects séparément ne peut qu'être incomplet et potentiellement trompeur.

La présente étude utilise le nouvel ensemble de données INRP-PDGES-EAMEF, qui combine l'information de trois sources : l'Inventaire national des rejets de polluants (INRP), le Programme de déclaration des gaz à effet de serre (PDGES) et l'Enquête annuelle sur les manufactures et l'exploitation forestière (EAMEF). L'ensemble de données regroupe l'information sur l'activité environnementale et économique qui permet d'examiner l'interaction de l'activité économique et de l'environnement. Plus précisément, une fonction de distance de la production permet de dériver le coût implicite pour 12 catégories de produits non souhaitables individuellement. Les coûts implicites des produits non souhaitables, par la suite, ont constitué un élément d'information essentiel pour élaborer un cadre d'analyse causale de la croissance afin de mesurer les incidences des produits non souhaitables sur la croissance de la productivité multifactorielle (PMF), l'une des mesures les plus courantes du rendement global d'une économie. L'ajustement fournit une mesure de la croissance de la productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement (PMFAE) dans le secteur de la fabrication et de nombreux sous-secteur de la fabrication au Canada.

Parmi les principales conclusions, on note que les estimations des coûts implicites et les ajustements environnementaux de la croissance de la PMF correspondent largement à l'intuition selon laquelle les prix des produits non souhaitables devraient être négatifs. Un fait encore plus intéressant, toutefois, est que l'inclusion des produits non souhaitables a amélioré la croissance de la productivité par rapport aux mesures normalisées, particulièrement pour les émissions de gaz à effet de serre (GES). En particulier, une forte croissance de la PMFAE, en ce qui a trait aux émissions de GES, par rapport à la mesure normalisée de la croissance de la productivité, reflète son importance relative et la baisse marquée des émissions par rapport à une augmentation légère de la production réelle. Pour la quasi-totalité des 12 catégories de produits non souhaitables, la croissance annuelle combinée de la PMFAE était supérieure à la croissance annuelle combinée de la PMF, témoignant des améliorations de l'intensité des produits non souhaitables.

Annexe A

A.1 Une comparaison des estimations au moyen de la production brute et du produit intérieur brut dans le secteur de la fabrication

Aux fins de comparabilité, des estimations des coûts implicites et des intensités des produits non souhaitables sont présentées au tableau A.1. Des estimations de la croissance de la productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement et de la croissance de la productivité multifactorielle sont présentées au tableau A.2.

Tableau A.1

Résultats des estimations pour l'élasticité de la production totale, les coûts implicites et l'intensité de production non souhaitable des produits non souhaitables pour la fabrication, de 2004 à 2012

Produits non souhaitables	Coefficient de croissance des produits non				Coût implicite		Intensité de la production non	
	Production brute		PIB		Production brute	PIB	Production brute	PIB
	coefficient	écart-type	coefficient	écart-type	dollars de 2012 / tonne		tonnes / million de dollars de 2012	
GES	0,233	0,040	0,031	0,012	-390	-13	597,68	2 321,36
CO ₂	0,260	0,042	0,031	0,013	-453	-14	573,56	2 227,66
N ₂ O	0,004	0,012	0,001	0,003	-1 002	-92	4,06	15,93
CH ₄	0,015	0,010	0,004	0,003	-3 611	-263	4,23	33,02
CO	0,047	0,012	0,007	0,004	-19 950	-712	2,37	9,50
NO _x	0,022	0,014	0,003	0,004	-34 875	-1 070	0,62	2,40
SO ₂	0,005	0,008	0,002	0,003	-1 489	-152	3,34	12,16
MPT	0,027	0,012	0,000	0,004	-69 666	-246	0,39	1,39
MP ₁₀	0,036	0,009	0,003	0,003	-229 573	-5 146	0,16	0,55
MP _{2,5}	0,025	0,008	0,002	0,003	-260 042	-5 230	0,10	0,34
COV	0,062	0,012	0,000	0,004	-211 975	-411	0,29	1,10
NH ₃	0,017	0,012	0,002	0,003	-91 780	-2 411	0,18	0,70

Notes : Consulter le tableau 1 pour connaître les abréviations et les noms des produits non souhaitables. PIB : produit intérieur brut.

Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur les données couplées de l'Inventaire national des rejets de polluants, du Programme de déclaration des gaz à effet de serre, de l'Enquête annuelle sur les manufactures et l'exploitation forestière et du tableau 36-10-0217-01 de Statistique Canada.

Tableau A.2

Estimations de la croissance de la productivité multifactorielle et de la croissance de la productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement, et des parts de production, fabrication, de 2004 à 2012

Produits non souhaitables	Croissance de la PMF		Croissance de la PMFAE		Différence		Parts des établissements déclarant des émissions	
	Production brute	PIB	Production brute	PIB	Production brute	PIB	Production brute	PIB
					pourcentage			
GES	0,033	0,102	0,107	0,108	0,074	0,006	12,7	11,5
CO ₂	0,033	0,102	0,080	0,101	0,047	-0,001	12,7	11,5
N ₂ O	0,033	0,102	0,047	0,106	0,013	0,004	12,6	11,1
CH ₄	0,033	0,102	0,051	0,101	0,018	-0,001	12,5	11,1
CO	0,033	0,102	0,051	0,101	0,018	-0,001	20,4	18,9
NO _x	0,033	0,102	0,042	0,102	0,009	0,000	21,5	20,3
SO ₂	0,033	0,102	0,036	0,103	0,003	0,000	13,8	13,6
MPT	0,033	0,102	0,030	0,102	-0,003	0,000	17,5	16,8
MP ₁₀	0,033	0,102	0,052	0,103	0,019	0,001	24,0	23,8
MP _{2,5}	0,033	0,102	0,054	0,103	0,021	0,001	23,9	23,9
COV	0,033	0,102	0,072	0,102	0,039	0,000	21,6	20,2
NH ₃	0,033	0,102	0,035	0,102	0,002	0,000	7,9	7,0

Notes : Consulter le tableau 1 pour connaître les abréviations et les noms des produits non souhaitables. Les parts des établissements déclarant des émissions du total de la production brute nominale et du produit intérieur brut (PIB) de la fabrication sont déclarées. Les taux de croissance pour la productivité multifactorielle (PMF) et la productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement (PMFAE) sont aux taux annuels composés calculés comme dans le graphique 5.

Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur les données couplées de l'Inventaire national des rejets de polluants, du Programme de déclaration des gaz à effet de serre, de l'Enquête annuelle sur les manufactures et l'exploitation forestière et du tableau 36-10-0217-01 de Statistique Canada.

Annexe B

B.1 Estimations des sous-secteurs de la fabrication

Des estimations de la croissance de la productivité multifactorielle à partir de la base de données KLEMS (capital, travail, énergie, matériel, services) pour divers sous-secteurs de la fabrication sont présentées au tableau B.1. Les estimations de la croissance de la productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement rendent compte de la façon dont les estimations de la base de données KLEMS seraient ajustées si elles incluaient les produits non souhaitables dans la mesure normalisée de la production brute réelle pour former une production totale. La différence entre les deux mesures de la productivité est aussi présentée. Dans la dernière colonne, le coût implicite pour chacun des produits non souhaitables est fourni pour l'année 2012, par sous-secteur.

La plupart des sous-secteurs comprennent des renseignements pour un nombre limité de produits non souhaitables, car ce ne sont pas tous les sous-secteurs qui produisent des quantités suffisantes de chacun des produits non souhaitables devant être déclarées dans l'Inventaire national des rejets de polluants et le Programme de déclaration des gaz à effet de serre. De plus, l'information sur certains produits non souhaitables a été supprimée à des fins de confidentialité.

Tableau B.1-1**Estimations pour les sous-secteurs de la fabrication de la croissance de la productivité multifactorielle, de la croissance de la productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement et des coûts implicites — sous-secteurs 311, 321, 322 et 324 du SCIAN**

	PMF, croissance annuelle composée	PMFAE, croissance annuelle composée	Différence	Coût implicite
	pourcentage			dollars de 2012 / tonne
Fabrication alimentaire (311)				
CO	0,12	0,11	-0,01	-361 445
NO _x	0,12	0,12	0,00	-103 893
MPT	0,12	0,11	0,00	-183 037
MP ₁₀	0,12	0,12	0,00	-591 271
MP _{2,5}	0,12	0,11	-0,01	-965 753
COV	0,12	0,07	-0,05	-135 136
Fabrication de produits du bois (321)				
CO	0,95	0,93	-0,02	-1 276
MPT	0,95	0,94	0,00	-23 796
MP ₁₀	0,95	0,95	0,00	-65 765
MP _{2,5}	0,95	0,95	0,01	-79 836
COV	0,95	0,93	-0,02	-31 421
Fabrication de papier (322)				
GES	0,42	0,38	-0,04	-360
CO ₂	0,42	0,41	-0,01	-462
N ₂ O	0,42	0,42	0,00	-87
CH ₄	0,42	0,41	-0,02	-413
CO	0,42	0,51	0,08	-14 083
NO _x	0,42	0,43	0,01	-10 786
SO ₂	0,42	0,42	0,00	-1 935
MPT	0,42	0,46	0,04	-23 853
MP ₁₀	0,42	0,48	0,06	-48 873
MP _{2,5}	0,42	0,46	0,04	-49 862
COV	0,42	0,43	0,00	-68 620
NH ₃	0,42	0,43	0,00	-95 242
Fabrication de produits du pétrole et du charbon (324)				
CO	-0,73	-0,42	0,32	-189 765
NO _x	-0,73	-0,69	0,04	-80 954
MP ₁₀	-0,73	-0,64	0,09	-1 110 105
MP _{2,5}	-0,73	-0,67	0,06	-1 212 031
COV	-0,73	-0,52	0,21	-389 016

Notes : Consulter le tableau 1 pour connaître les abréviations et les noms des produits non souhaitables. PMFAE : productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement. PMF : productivité multifactorielle. SCIAN : Système de classification des industries de l'Amérique du Nord.

Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur les données couplées de l'Inventaire national des rejets de polluants, du Programme de déclaration des gaz à effet de serre, de l'Enquête annuelle sur les manufactures et l'exploitation forestière et du tableau 36-10-0217-01 de Statistique Canada.

Tableau B.1-2

Estimations pour les sous-secteurs de la fabrication de la croissance de la productivité multifactorielle, de la croissance de la productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement et des coûts implicites — sous-secteurs 325, 327, 331 et 336 du SCIAN

	PMF, croissance annuelle composée	PMFAE, croissance annuelle composée	Différence	Coût implicite dollars de 2012 / tonne
	pourcentage			
Fabrication de produits chimiques (325)				
GES	-0,12	-0,07	0,05	-149
CO ₂	-0,12	-0,22	-0,10	-170
N ₂ O	-0,12	-0,10	0,02	-196
CH ₄	-0,12	-0,11	0,01	-749
CO	-0,12	-0,14	-0,03	-54 533
NO _x	-0,12	-0,11	0,00	-15 922
SO ₂	-0,12	-0,12	0,00	-3 399
MPT	-0,12	-0,13	-0,02	-98 079
MP ₁₀	-0,12	-0,12	0,00	-296 294
MP _{2,5}	-0,12	-0,10	0,01	-388 650
COV	-0,12	-0,13	-0,01	-178 707
NH ₃	-0,12	-0,11	0,00	-7 608
Fabrication de produits minéraux non métalliques (327)				
GES	-0,53	-0,45	0,08	-37
CO ₂	-0,53	-0,43	0,09	-42
CO	-0,53	-0,52	0,01	-7 236
NO _x	-0,53	-0,52	0,01	-1 824
SO ₂	-0,53	-0,53	0,00	-510
MPT	-0,53	-0,54	-0,01	-12 788
MP ₁₀	-0,53	-0,52	0,01	-33 252
MP _{2,5}	-0,53	-0,50	0,03	-48 727
COV	-0,53	-0,53	0,00	-209 124
Fabrication de métaux de première transformation (331)				
GES	-0,04	-0,02	0,02	-197
CO ₂	-0,04	-0,09	-0,05	-240
N ₂ O	-0,04	-0,03	0,02	-2 171
CH ₄	-0,04	-0,05	-0,01	-3 584
CO	-0,04	-0,14	-0,10	-3 736
NO _x	-0,04	-0,05	0,00	-32 190
SO ₂	-0,04	-0,04	0,00	-359
MPT	-0,04	-0,07	-0,02	-25 129
MP ₁₀	-0,04	-0,08	-0,04	-72 248
MP _{2,5}	-0,04	-0,06	-0,02	-76 973
COV	-0,04	-0,01	0,03	-458 398
Fabrication de matériel de transport (336)				
MP ₁₀	-0,57	2,33	2,90	-14 019 487
MP _{2,5}	-0,57	1,35	1,92	-16 435 588
COV	-0,57	1,69	2,26	-699 141

Notes : Consulter le tableau 1 pour connaître les abréviations et les noms des produits non souhaitables. PMFAE : productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement. PMF : productivité multifactorielle. SCIAN : Système de classification des industries de l'Amérique du Nord

Source : Statistique Canada, calculs des auteurs fondés sur les données couplées de l'Inventaire national des rejets de polluants, du Programme de déclaration des gaz à effet de serre, de l'Enquête annuelle sur les manufactures et l'exploitation forestière et du tableau 36-10-0217-01 de Statistique Canada.

Bibliographie

Aiken, D.V., et C.A. Pasurka Jr. 2003. « Adjusting the Measurement of US Manufacturing Productivity for Air Pollution Emissions Control ». *Resource and Energy Economics* 25 : 329 à 351.

Baldwin, J.R., W.Gu, R.Macdonald et B.Yan. 2014. *Qu'est-ce que la productivité? Comment la mesure-t-on? Quelle a été la productivité du Canada pour la période de 1961 à 2012?* La revue canadienne de productivité, n° 38. Produit n° 15-206-X au catalogue de Statistique Canada. Ottawa : Statistique Canada.

Brandt, N., P. Schreyer et V. Zipperer. 2014. *Productivity Measurement with Natural Capital and Bad Outputs*. Documents de travail du Département des Affaires économiques de l'OCDE, n° 1154. Paris : Publication de l'OCDE.

Cárdenas Rodríguez, M., I. Haščič et M. Souchier. 2016. *Productivité multifactorielle ajustée en fonction de l'environnement : méthodologie et résultats empiriques pour les pays de l'OCDE et du G20*. Articles sur la croissance verte de l'OCDE, n° 2016-04. Paris : Publication de l'OCDE.

Coelli, T.J., et S. Perelman. 1996. *Efficiency Measurement, Multiple-output Technologies and Distance Functions: With Application to European Railways*. Document de travail CREPP n° 96/05. Liège, Belgique : Université de Liège.

Coelli, T.J., et S. Perelman. 1999. « A comparison of parametric and non-parametric distance functions: With Application to European Railways ». *European Journal of Operational Research* 117 (2) : 326 à 339.

Coelli, T.J., D.S.P. Rao, C.J. O'Donnell et G.E. Battese. 2005. *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. 2^e édition New York : Springer.

CMED (Commission mondiale sur l'environnement et le développement). 1987. *Our Common Future*. Oxford : Oxford University Press.

Dang, T., et A. Mourougane. 2014. *Estimation des coûts implicites de la pollution dans les économies de l'OCDE*. Articles sur la croissance verte de l'OCDE, n° 2014-02. Paris : Publication de l'OCDE.

ECCC (Environnement et Changement climatique Canada). Inventaire national des rejets de polluants. 2015. *Rapport sommaire 2015 : Données révisées déclarées par les installations*. Gatineau, Québec : ECCC.

Färe, R., et S. Grosskopf. 1990. « A distance function approach to measuring price efficiency ». *Journal of Public Economics* 43 : 123 à 126.

Färe, R., S. Grosskopf, C.A.K. Lovell et S. Yaisawarng. 1993. « Derivation of shadow prices for undesirable outputs: A distance function approach ». *The Review of Economics and Statistics* 75 (2) : 374 à 380.

Färe, R., et D. Primont. 1995. *Multi-output Production and Duality: Theory and Applications*. Boston : Kluwer Academic Publishers.

Murty, S., et R. Russell. 2017. *Bad Outputs*. Document de travail. Disponible au lien suivant : http://economics.ucr.edu/people/profemer/russell/bad_outputs_june26.pdf (consulté le 9 mars 2018).

Shephard, R.W. 1970. *Theory of Cost and Production*. Princeton : Princeton University Press.

Statistique Canada, s.d. *Tableau 36-10-0217-01 Productivité multifactorielle, production brute, valeur ajoutée, facteurs capital, travail et intermédiaire au niveau de l'industrie détaillé, selon des industries.* Disponible au lien suivant : <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/en/tv.action?pid=3610021701> (consulté le 12 décembre 2018).

Stern, N. 2008. « The economics of climate change ». *American Economic Review* 98 (2) : 1 à 37.

Stiglitz, J., A. Sen et J.-P. Fitoussi. 2009. *Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress*. Paris. Disponible au lien suivant : <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/118025/118123/Fitoussi+Commission+report> (consulté le 12 décembre 2018).

Syverson, C. 2011. « What determines productivity? ». *Journal of Economic Literature* 49 (2) : 326 à 365.