

**Impacts économiques de la taxe sur l'énergie dans un modèle d'équilibre  
général calculable**

Analyse de sensibilité des résultats aux valeurs des élasticités  
de substitution

Jonathan Mpoto  
(300049773)

Mémoire présenté au Département de science économique de  
l'Université d'Ottawa  
pour l'obtention du diplôme de Maîtrise Directeur  
du mémoire : Professeur Yazid Dissou

ECO 6999

Ottawa, Ontario  
Mai 2020

## **Résumé**

Le présent travail a pour objectif principal d'examiner la sensibilité des impacts économiques de la taxe carbone sur l'économie canadienne, en utilisant une version statique du Modèle d'équilibre général calculable (MEGC) multisectoriel de cette économie. Pour cela, une taxe sur le carbone est utilisée, ensuite des simulations sont faites en utilisant les variables aléatoires des élasticités de substitution pour analyser la sensibilité des résultats du modèle. Une fonction de distribution uniforme est considérée à cet effet. Les variations des élasticités sont considérées dans un intervalle entre -25% et 25% de la valeur centrale. Les résultats renseignent que la taxe sur le carbone affecte négativement l'économie. Concernant la sensibilité, d'une manière générale, les résultats des simulations avec différents ensembles d'élasticités indiquent que le modèle produit des résultats moins sensibles suite à une variation de l'ensemble de paramètres d'élasticités de substitution.

**Mots clés :** Analyse de Sensibilité, Modèle EGC, Élasticité de Substitution, Politique Climatique.

## **Abstract**

The main objective of this work is to examine the sensitivity of the economic impacts of the carbon tax on the Canadian economy, using a static version of the multisectoral calculable general equilibrium model (CGEM) of this economy. For this, a carbon tax is used, then simulations are made using the random variables of the elasticities of substitution to analyze the sensitivity of the results of the model. A uniform distribution function is considered for this purpose. The variations in elasticities are considered in the range between -25% and 25% of the central value. The results indicate that the carbon tax negatively affects the economy. Concerning sensitivity, in general, the results of simulations with different sets of elasticities indicate that the model produces less sensitive results following a variation of the set of elasticity parameters of substitutions.

**Keywords :** Sensitivity analysis, CGE model, elasticity of substitution, climate policy.

## **Remerciements**

J'aimerais remercier mon directeur de mémoire, le Professeur Yazid Dissou, pour sa perspicacité, sa disponibilité, sa patience, ses précieux conseils et autre aide apportée à mon egard tout au long de la rédaction de ce travail car, celui-ci n'aurait pas été possible sans sans son aide. Pour cela, je vous en suis sincèrement reconnaissant.

## **Table des figures**

3.1 Schéma de la technologie de production de la firme représentative .....	11
---	----

## Liste des tableaux

4.1	Variation en pourcentage des principaux agrégats économiques (cas 1) .....	16
4.2	Variation en pourcentage des principaux agrégats économiques par secteur (cas 1) .....	17
4.3	Valeur moyenne en pourcentage des principaux agrégats économiques (cas 2) .....	19
4.4	Valeur moyenne en pourcentage des principaux agrégats économiques par secteur (cas 2) .....	20
4.5	Coefficient de variation en pourcentage des principaux agrégats économiques par secteur (cas 2) .....	21

## **Table des matières**

CHAPITRE 1: Introduction.....	3
CHAPITRE 2 : Revue de littérature .....	5
CHAPITRE 3: Spécification du modèle.....	9
La Production.....	10
Les Ménages .....	11
Gouvernement et autres composantes de la demande intérieure .....	12
Conditions d'équilibre et règles de fermeture.....	13
Données et calibration.....	14
CHAPITRE 4: Analyse des résultats de la simulation .....	15
Impact de la taxe carbone sur l'économie.....	15
Analyse de sensibilité .....	18
CHAPITRE 5: Conclusion .....	22
REFERENCES .....	23

## CHAPITRE 1 : Introduction

Les problèmes environnementaux, tels que la pollution<sup>1</sup>, les émissions des gaz à effet de serre (GES) et du dioxyde de carbone dans de nombreuses régions du monde sont devenus de plus en plus aigus (Hugon, 2005). La réduction des émissions des GES est devenue une préoccupation majeure des politiques publiques au cours des dernières décennies, car les GES sont l'une des principales causes du réchauffement climatique. Les inquiétudes concernant le réchauffement climatique ont conduit la communauté internationale à réduire les émissions de GES dans l'atmosphère (Dissou, 2005). Ainsi, ces problèmes sont devenus l'une des plus grandes préoccupations de l'être humain, en raison de son impact élevé à l'échelle mondiale. Ils affectent plusieurs domaines, tels que le développement économique, la croissance démographique et la gestion des ressources, entre autres (BENAVENTE, 2016).

Cependant, plusieurs instruments politiques peuvent être utilisés pour atteindre l'objectif de réduction de ces GES, tels que la tarification des produits dont la consommation génère des émissions, la tarification routière, la tarification du carbone, qui peut être basée sur la quantité (par exemple, les systèmes de plafonnement et d'échange) ou le prix (ex. taxe carbone). Ces mesures ont prouvé leur efficacité à plusieurs endroits dans le monde. Ainsi, l'imposition d'une taxe, selon plusieurs auteurs, est l'une des solutions pour atténuer les émissions de carbone. Néanmoins, l'impact de cette politique reste une question controversée, encore très débattue par la littérature internationale, compte tenu de la sensibilité des résultats aux paramètres du modèle.

Les modèles d'équilibre général calculable (MEGC) sont particulièrement adaptés à l'analyse de l'effet des politiques à faible émission de carbone, car ils peuvent saisir les différentes interactions entre les activités dans l'économie considérée et aussi le dynamisme de celle-ci dans l'ensemble, suite à la politique adoptée. Cependant, ces modèles doivent être améliorés et validés avec des informations détaillées sur les paramètres comportementaux du côté de la technologie et de l'énergie afin de produire des résultats plus fiables. En ce qui concerne les MEGC, ce type d'information est principalement représenté par des valeurs d'élasticité qui régulent les processus de substitution en réponse à l'évolution des prix relatifs.

---

<sup>1</sup> La pollution dans ce travail indique seulement des émissions de CO<sub>2</sub>.

Une question pertinente à se poser est de savoir d'où viennent ces élasticités utilisés dans de MEGC. Les modélisateurs du MEGC tirent généralement les élasticités des travaux économétriques qui utilisent la variation des prix en série chronologique pour identifier une élasticité de substitution entre les biens nationaux et les importations. Cependant, cette approche peut poser quelques insuffisances d'autant plus que les modélisateurs prennent des estimations ponctuelles tirées de la littérature économétrique, tout en ignorant parfois la précision de ces estimations.

Hertel *et al.* (2007) soulignent quelques problèmes avec les élasticités disponibles dans la littérature. Un problème avec la plupart des études existantes découle de l'utilisation de séries de prix à l'importation pour identifier la substitution nationale par rapport à la substitution étrangère. Cette approche tend à sous-estimer systématiquement la véritable élasticité car ces estimations considèrent la variation des prix comme exogène lors de l'estimation des fonctions de demande d'importation et ignorent la variation de qualité. Lorsque la qualité est élevée, la demande d'importation et les prix seront conjointement élevés. Cela biaise les élasticités estimées vers zéro.

Ainsi, la nécessité d'une clarification empirique supplémentaire sur les élasticités entre les différentes composantes de fonction utilisées dans un MEGC semble pertinente, tout en se demandant dans quelle mesure l'incertitude des élasticités affecte les résultats sur le plan qualitatif ou leur ordre de grandeur, d'autant plus qu'aucun paramètre n'est connu avec certitude.

À cet égard, le présent travail a pour objectif principal d'examiner la sensibilité des impacts économiques de la taxe carbone sur l'économie canadienne, en utilisant une version statique du MEGC multisectoriel de cette économie. Pour cela, une taxe carbone est utilisée, ensuite des simulations sont faites en utilisant les variables aléatoires des élasticités de substitutions pour analyser la sensibilité sur les résultats du modèle. Une fonction de distribution uniforme est considérée à cet effet.

Le reste de l'étude se présente comme suit. La prochaine section donne un aperçu de certaines études réalisées dans cette littérature sur la pertinence de l'analyse de sensibilité dans les MEGC, pour valider les résultats et les raisons pour lesquelles des paramètres comportementaux détaillés sont cruciaux pour la robustesse des résultats de simulation. La troisième section présente le MEGC utilisé dans ce travail, en discutant la spécification du modèle. Les différents résultats obtenus après les simulations seront présentés à la quatrième section, et la conclusion est présentée à la dernière section du mémoire.

## CHAPITRE 2 : Revue de littérature

L'impact des politiques sur les systèmes économiques peut être analysé en tirant parti de différents modèles appliqués qui peuvent évaluer la réaction de l'économie à tout choc exogène. Des exemples de chocs sont l'imposition d'une taxe carbone, la réduction des droits de douane sur les importations, les subventions à l'exportation ou la libéralisation des échanges et l'impact des hausses de prix sur un bien particulier. La littérature relative à la réduction de GES a récemment évolué et de nombreux auteurs ont utilisé différentes méthodes pour analyser ce problème. Le MEGC, qui est utilisé pour simuler et analyser les effets des politiques, est récemment devenu un outil populaire pour les chercheurs en politiques environnementales (Zhou *et al.*, 2011).

Poterba (1991) souligne que l'imposition d'une taxe carbone serait une mesure efficace pour lutter contre le réchauffement climatique, en réduisant les émissions de carbone. D'autres auteurs comme Metcalf (2009), Stern (2007), Gao et Chen (2002) ont analysé le fait d'adopter une taxe en réponse au changement climatique. Wissema et Dellink (2007) confirment qu'une taxe carbone entraîne des réductions d'émissions plus importantes qu'une taxe uniforme sur l'énergie équivalente car cette dernière a un effet négatif sur l'énergie qui émet moins de GES alors que la taxe carbone encourage fortement l'utilisation des énergies renouvelables et réduit l'utilisation de tourbe et de charbon. Une taxe carbone peut également produire des avantages collatéraux, notamment la réduction de la pollution atmosphérique et une restructuration budgétaire qui accroît l'efficacité (Telaye *et al.*, 2019).

Quelle que soit l'approche retenue, et selon la problématique étudiée, un aspect particulier à prendre en compte est le rôle des paramètres comportementaux qui régulent la réactivité des agents économiques et, par conséquent, les effets des scénarios politiques modélisés (Antimiani *et al.*, 2015)

Zha et Ding (2014) citent, dans leur travail, l'article de Hogan et Manne (1977), où ces auteurs ont constaté que si les élasticités de substitution entre l'énergie et la non-énergie étaient de l'ordre de 0,3 à 0,5, la croissance économique aux États-Unis jusqu'en 2010 ne serait que légèrement entravée par des contraintes dramatiques sur la croissance de l'approvisionnement énergétique. Alternativement, quand elle tombe dans 0,1-0,2, l'économie du pays devient

sérieusement vulnérable en cas de pénurie de combustibles et d'électricité. Hertel et al. (2007) mentionnent que d'un côté, les petites élasticités commerciales génèrent d'importants effets sur les termes de l'échange en réduisant la réactivité de la demande d'exportation. D'un autre côté, de faibles élasticités commerciales réduisent la probabilité de détournement des échanges, car l'approvisionnement en importations de- vient moins sensible aux prix relatifs. Bien entendu, de grandes élasticités commerciales conduisent aux résultats opposés.

Koetse *et al.* (2008) constatent une hétérogénéité dans de simulations et des estimations empiriques des prix croisés capital-énergie et des élasticités dans leur travail. Ils concluent que ces divergences peuvent s'expliquer par les différences de spécification du modèle, des caractéristiques des données, des régions et des périodes. Cependant, jusqu'à présent, la source des différences dans les résultats des simulations reste controversée (Zha et Ding, 2014).

Hertel *et al.* (2007) étudient comment l'élasticité de la substitution à travers de multiples sources d'approvisionnement étrangères influence les impacts économiques des accords de libre-échange. En utilisant des estimations économétriques pour les paramètres comportementaux qui sont cruciaux pour les relations commerciales, ils concluent qu'il existe un grand potentiel pour améliorer la fiabilité des résultats lorsque des paramètres estimés empiriquement sont adoptés. Németh *et al.* (2011) estiment les élasticités d'Armington pour sept secteurs dans le GEM-E3 qui est un MEGC sur les interactions entre l'économie, l'énergie et l'environnement en Europe. Ils constatent des différences significatives dans les résultats du modèle en raison des différentes valeurs d'élasticité entre les produits nationaux et importés ainsi qu'entre les produits importés de différents pays, à court et à long terme. Plus généralement, Hillberry et Hummels (2013) affirment que l'élasticité de substitution est l'un des paramètres les plus importants de la théorie moderne du commerce car elle capture à la fois l'élasticité de la demande aux prix propres et l'élasticité de la demande entre les prix en mesurant la proximité des marchandises dans l'espace produit.

Dans les modèles de changement climatique utilisés pour la modélisation des politiques, il existe deux classes principales de paramètres comportementaux : i) l'élasticité de substitution entre l'énergie (E) et d'autres intrants (I) dans la fonction de production, ci-après dénommée  $\sigma_{EI}$  ; et ii) l'élasticité entre différents types de sources d'énergie (substitution inter-carburants). En ce qui concerne la première, elle affecte directement les coûts associés aux politiques d'objectifs de réduction et représente l'un des aspects caractérisant la technologie incorporée dans le modèle (les autres étant, par exemple, le niveau d'accumulation de capital et le taux de changement technique). Elle est

cruciale car les variations des prix de l'énergie ont un effet direct sur l'offre et la demande d'énergie, mais aussi un effet indirect sur la production totale et le bien-être (ANTIMIANI *et al.*, 2015).

Ces paramètres de comportement représentent une composante de l'information technologique et régulent la façon dont le modèle répond aux chocs (politiques exogènes). La valeur de  $\sigma_{EI}$ , en particulier, est une mesure de la flexibilité technologique liée à la consommation d'énergie. Plus précisément, une valeur inférieure pour une telle élasticité correspond, toute chose étant égale par ailleurs, à une rigidité plus élevée dans l'ensemble de l'économie et, par conséquent, à des coûts de réduction plus élevés à maintenir pour une politique d'atténuation climatique donnée (GOLUB, 2013).

Les études empiriques analysant l'élasticité de substitution dans la fonction de production prennent généralement en compte trois ou quatre entrées, distinguant ainsi les modèles KLE et KLEM (où K, L, E, M font respectivement référence au capital, au travail, à l'énergie et aux matériaux). La forme fonctionnelle généralement adoptée dans un modèle EGC correspond à une fonction d'élasticité de substitution constante (CES). Cela signifie que selon les conditions de séparabilité spécifiquement supposées, afin de respecter la structure d'imbrication spécifique adoptée par le modèle EGC, les différences dans l'agrégation des entrées doivent être soigneusement détectées car elles peuvent fortement influencer l'ampleur des élasticités de substitution (KEMFERT, 1998).

Cependant, il est possible de constater que dans de nombreux cas, les paramètres d'élasticité se sont révélés cruciaux lors de l'étude des politiques macroéconomiques, d'autant plus que la sensibilité des résultats de modèles EGC dépend de ces élasticités. D'un point de vue général, il existe plusieurs méthodes pour effectuer une analyse de sensibilité et identifier les sources de variation de sortie pour différentes valeurs d'élasticité. L'analyse de sensibilité locale (ou limitée) permet d'évaluer l'impact de la modification d'un paramètre sur la sortie du modèle, en gardant tous les autres fixes, sans prendre en compte les interactions avec d'autres paramètres. L'analyse de sensibilité différentielle (ou méthode directe) et l'indice de sensibilité sont des exemples de méthodes d'exécution de la sensibilité sur des paramètres uniques (HAMBY, 1994).

L'analyse de sensibilité globale, d'autre part, considère tous les paramètres simultanément

et, en tenant compte de la distribution entière des paramètres, identifie quelle combinaison est la plus susceptible d'affecter la variabilité de résultats et quel est l'effet sur la sortie des changements dans la valeur des paramètres. Ces méthodes utilisent l'analyse d'erreurs de paramètres ou des méthodes d'échantillonnage aléatoire pour générer une distribution d'entrée et de sortie comme l'analyse de Monte Carlo, les méthodes de quadrature gaussienne, la régression (méthodes paramétriques) ou des approches basées sur la variance (ANTIMIANI *et al.*, 2015).

Antimiani *et al.* (2015) analysent la sensibilité de la version énergétique d'un MEGC dynamique qui tient spécifiquement compte des données économiques et énergétiques. Ils se sont concentrés sur l'élasticité de substitution entre énergie et capital et entre différents types de sources d'énergie. Deux implications principales découlent de cette analyse. Premièrement, lors de l'examen de la répartition des objectifs de réduction entre les différents secteurs d'un pays, l'hétérogénéité des flexibilités technologiques doit également être prise en considération. Deuxièmement, il convient de noter que de nouvelles améliorations de ce type de modèle sont fortement recommandées afin d'augmenter la fiabilité des résultats de simulation.

En particulier, étant donné les différences régionales dans la réaction aux valeurs communes d'élasticité sectorielle, il est nécessaire d'estimer empiriquement tous les paramètres comportementaux liés à l'énergie au niveau du secteur spécifique et du pays avec la désagrégation la plus élevée compatible avec la disponibilité des données.

### CHAPITRE 3: Spécification du modèle

Un MEGC est utilisé pour analyser la sensibilité dudit modèle à une variation des élasticités de substitution. Un MEGC est l'image d'une économie entière décrite comme un groupe de consommateurs et de producteurs (c'est-à-dire des agents économiques), à la fois demandeurs et fournisseurs de produits. L'expression «équilibre général» fait référence à une approche analytique où l'économie est considérée comme un système de composantes interdépendantes (marchés, secteurs et agents économiques) dans lequel tous les agents économiques prennent leurs décisions en fonction d'un comportement pleinement optimisant, c'est-à-dire les quantités et les prix de produits et les facteurs de production sont déterminés simultanément en assurant l'égalité de l'offre et de la demande. Les agents économiques sont supposés se comporter de manière rationnelle en optimisant leur production (ou leur consommation) pour un budget donné tout en tenant compte de l'environnement du marché (par exemple les politiques gouvernementales) (BENAVENTE, 2016).

En particulier, les MEGC sont une représentation analytique des échanges interconnectés qui ont lieu entre tous les agents économiques sur la base des données observées. Les avantages de ce type d'analyse sont qu'ils peuvent capturer non seulement les impacts directs d'un choc politique sur le marché concerné mais également les impacts indirects sur les autres secteurs de l'économie ainsi que les effets de rétroaction de ces secteurs sur le secteur d'origine. Un MEGC comprend généralement une base de données détaillée, sous la forme d'une matrice appelée matrice de comptabilité sociale (SAM)<sup>2</sup>, et un ensemble d'équations reliant les variables via des paramètres de comportement (ou élasticités).

Différentes valeurs d'élasticité déterminent fortement les réponses à un choc donné, mais il n'y a souvent aucune valeur empiriquement estimée pour ces élasticités. Ceci est une source de grande critique pour les MEGC comme il a été mentionné à la section précédente. Par conséquent, la validation du modèle nécessite des estimations précises des paramètres comportementaux cruciaux. Le Canada dans ce modèle est considéré comme un petit pays ouvert au monde qui consomme et produit des biens qui peuvent être échangés.

---

<sup>2</sup> SAM: *Social Accounting Matrix*.

### 3.1. La Production

Nous utilisons une version réduite de la désagrégation sectorielle avec cinq industries et cinq produits qui sont vendus sur le marché intérieur ou exportés. Selon le modèle, la production (output) (voir figure 3.1) est représentée par une fonction élasticité de production constante (CES)<sup>3</sup>. Le producteur maximise son profit en combinant les intrants intermédiaires et la valeur ajoutée combinée de l'énergie ; et ensuite détermine les niveaux optimaux de demande du capital physique, du travail, de l'énergie et d'intrants intermédiaires, et donc le niveau optimal de sa production.

Par conséquent, le prix est fixé au coût marginal et la demande détermine le niveau optimal de production. D'où, le producteur choisit la quantité qui sera produite, qui est la demande optimale d'intrants intermédiaires et de la valeur ajoutée combinée à l'énergie, requise par l'entreprise pour atteindre le niveau de production pour lequel le coût marginal est égal aux prix de la production.

Toutes les entreprises opèrent dans un environnement concurrentiel et ont accès à une technologie à rendements constants dans tous les facteurs de production (Dissou, 2005). Les entreprises considèrent que les coûts et les prix des facteurs sont donnés en raison de l'hypothèse d'une concurrence parfaite. Enfin, une partie fixe du profit (rémunération du capital) est distribuée aux ménages sous forme de dividendes, et l'entreprise conserve le reste sous forme d'épargne à des fins d'investissement. La valeur ajoutée combinée à l'énergie est une fonction agrégée de type CES du composite du travail et du capital et de l'énergie. Le composite du capital et du travail est une fonction CES. La demande pour les intrants intermédiaires est déterminée par une fonction Leontief qui maintient constante la part de chaque produit. Les élasticités de substitution entre les intrants aux différents niveaux sont tirées de la littérature.

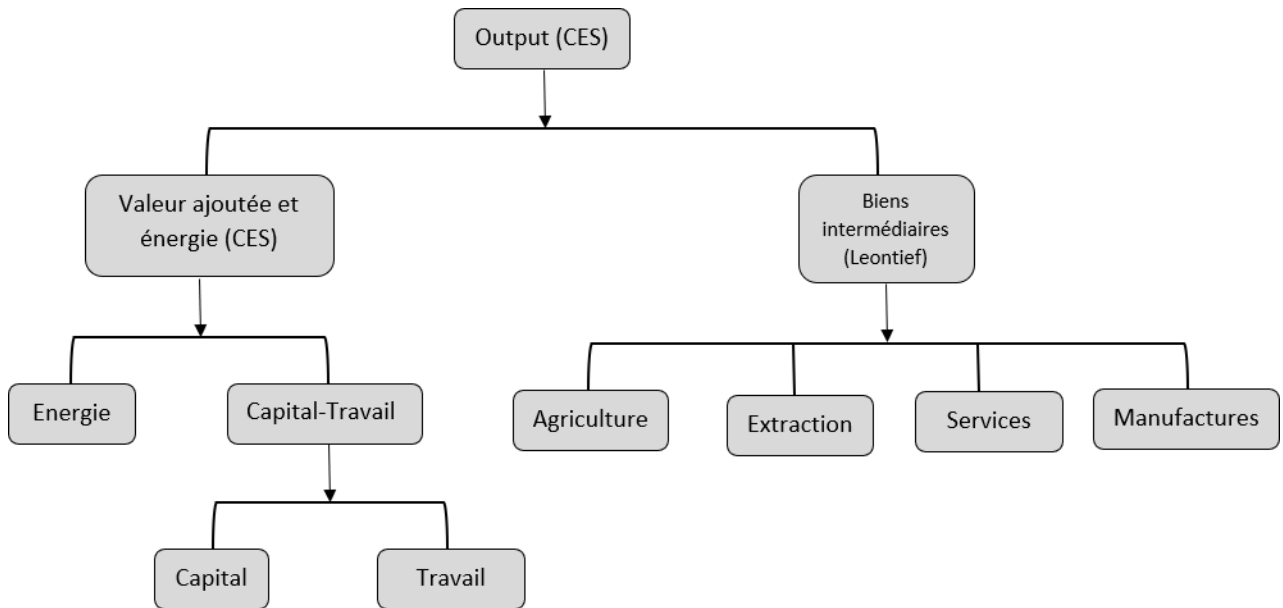
Les formes génériques de la fonction CES et Leontief considérées dans ce travail sont données par les équations (3.1) et (3.2).

Fonction CES :

---

<sup>3</sup> CES : Constant Elasticity of Substitution.

**Figure 3.1** – Schéma de la technologie de production de la firme représentative



Source: Auteur

$$Y_i = A_i [\alpha X_{i1}^\rho + (1 - \alpha) X_{i2}^\rho]^{1/\rho} \quad (3.1)$$

Fonction Leontief :

$$Y_i = \min(\gamma X_{i1}^\rho, \beta X_{i2}^\rho) \quad (3.2)$$

où  $Y_i$  représente l'output du secteur  $i$ ,  $A_i$  représente le paramètre de productivité des facteurs  $i$ ,  $\alpha$  est un facteur qui fournit la répartition des revenus entre les différents secteurs de l'output  $X_{i1}$ .  $\gamma$  et  $\beta$  représentent le facteur de répartition des revenus respectivement pour l'intrant  $X_{i1}$  et  $X_{i2}$  dans l'équation (3.2),  $\rho$  représente l'élasticité de substitution.

### 3.2. Les Ménages

Les ménages maximisent leurs utilités sous les contraintes budgétaires. Les préférences du ménage sont représentées par une fonction CES. Les ménages sont propriétaires des facteurs de

production (capital et travail) qui seront utilisés par les entreprises qui paient en retour les salaires et les dividendes. Les ménages, après avoir payé des impôts au gouvernement, utilisent leurs revenus (salaires, dividendes, transferts gouvernementaux et transferts nets étrangers) pour épargner et consommer. L'épargne est une fonction linéaire du revenu disponible. Ainsi, les consommateurs réagissent aux changements de prix. Le ménage est représenté par un seul représentant. La maximisation de la fonction d'utilité soumise à la contrainte budgétaire permet de déterminer la demande de divers produits (Dissou, 2005).

### 3.3. Gouvernement et autres composantes de la demande intérieure

Dans ce modèle, le gouvernement n'optimise aucune fonction comme font les ménages et entreprises ; il consomme des biens et des services qui sont fixes en termes réels. Les autres dépenses du gouvernement considérés dans ce travail sont les paiements d'intérêts sur la dette et les transferts aux ménages. Le gouvernement finance ses dépenses en utilisant les impôts directs sur la rémunération des facteurs primaires (impôts sur le revenu), les impôts indirects (nets de subventions) sur les biens produits au pays et les activités de production et les impôts sur les transactions internationales (importations). Dans les simulations, nous supposons que le gouvernement s'ajuste à tout changement dans ses revenus en augmentant ou en diminuant les transferts aux ménages afin de maintenir son solde budgétaire constant.

L'épargne du gouvernement,  $G_{sav}$ , est présentée dans l'équation (3.3) :

$$G_{sav} = Y_G - G - TRGM \quad (3.3)$$

où  $Y_G$  représente les recettes publiques qui se composent de la somme des impôts indirects sur les produits, des impôts directs sur le revenu familial, de l'impôt direct sur le revenu des entreprises, des impôts sur les exportations et les importations. En outre, il y a les transferts du reste du monde et les revenus du capital.  $TRGM$  représente les transferts gouvernementaux aux ménages et  $G$  représente les dépenses en biens et services achetés par le gouvernement.

La demande domestique totale de chaque produit est la somme de toutes les demandes du gouvernement, des ménages et des entreprises pour la consommation, l'utilisation intermédiaire et

l'investissement. La demande totale pour le produit à usage intermédiaire est la somme de toutes les demandes des industries en intrant intermédiaire. Dans ce modèle, la part de chaque produit dans l'investissement total est fixe. D'après la loi de Walras, il s'ensuit que la demande<sup>4</sup> pour chaque produit à des fins d'investissement est une proportion fixe de l'épargne totale disponible. Ce dernier est la somme de l'épargne publique, des entreprises, des ménages et de l'étranger.

Le modèle introduit un autre type de différenciation du côté de la demande: selon l'hypothèse d'Armington<sup>5</sup>, les produits nationaux sont des substituts imparfaits aux importations. Une fonction CES est utilisée pour différencier les importations des produits nationaux. Le niveau optimal pour chaque composante de la demande intérieure est obtenu en utilisant une règle de minimisation des coûts.

### **3.4. Conditions d'équilibre et règles de fermeture**

D'après les hypothèses présentées par la théorie de l'équilibre général, dans ce modèle, cet équilibre est caractérisé par une répartition des biens et des facteurs tels que le prix qui est déterminé équilibre de manière endogène tous les marchés et les entreprises n'ont aucun profit pur. Il s'ensuit que le modèle doit satisfaire à ces conditions d'équilibre :

1. équilibre sur le marché du travail ;
2. équilibre sur le marché du capital ;
3. équilibre sur les marchés intérieurs de biens ;
4. équilibre de la balance des paiements.

La première condition d'équilibre détermine le taux de salaire, la deuxième détermine le taux de location du capital, la troisième détermine les prix des biens nationaux. La quatrième et dernière condition d'équilibre est introduite pour empêcher que les changements de politique ne

---

<sup>4</sup> La demande pour le produit de base, dans ce document, est uniquement à des fins d'investissement, c'est-à-dire des biens d'investissement, au lieu d'investissements par secteur de destination, ce qui augmente le stock de capital sectoriel (Dissou, 2005).

<sup>5</sup> L'hypothèse selon laquelle les produits importés et produits domestiques sont des substituts imparfaits résout le problème selon lequel le même type de produit est exporté et importé dans des données commerciales réelles.

soient financés par des entrées de capitaux en provenance du reste du monde. Le taux de change nominal a été choisi comme étant le *numéraire*. Dans ce cas, tout changement du prix doit être interprété comme étant relatif au numéraire.

### **3.5. Données et calibration**

Les données considérées dans ce travail proviennent de la matrice de comptabilité sociale (MCS) pour le Canada pour l'année 2006. Ces données regroupent plusieurs informations concernant les données sur les intrants utilisés par les industries, la quantité finale des biens qui découle de la production des industries, la demande finale des ces industries, des ménages et du gouvernement à des fins d'investissement et de consommation. La matrice de comptabilité sociale informe aussi les origines du revenu du gouvernement en donnant les valeurs de taxes (directe et indirecte).

La Division des comptes des industries de Statistique Canada met à disposition du public les tableaux d'entrées-sorties, qui contiennent les informations sur toutes les transactions effectuées en économies par les ménages et les industries. Cependant, à des fins de modélisation, il a été considéré dans ce travail un niveau élevé d'agrégation qui regroupe toutes les industries en 5 types.

D'où, la matrice de comptabilité sociale utilisée dans ce travail présente les données de production de 5 industries, les différents flux (épargne, consommation et investissements) entre les industries, les ménages, le gouvernement et le reste du monde. Comme il est courant dans les MEGC, la première étape de la simulation sera la calibration des paramètres comportementaux dans le modèle, puis reproduire l'équilibre initial en utilisant les données disponibles de la MCS, les conditions de premier ordre des ménages et le problème d'optimisation des industries. Comme la plupart des études l'ont fait, les élasticités de substitution proviennent de la littérature. La calibration suit les règles standards, en résolvant la forme analytique du modèle représenté par un système d'équations non linéaires, avec le logiciel *General Algebraic Modeling Systems (GAMS)*.

## CHAPITRE 4: Analyse des résultats de la simulation

Afin de faire une analyse sur comment une variation des élasticités de substitutions dans un MEGC affectent les variables macroéconomiques, nous considérons une taxe de 10% sur le carbone, qui sera appliquée sur tous les produits utilisant l'énergie. Ensuite, nous avons fait des simulations en utilisant les valeurs aléatoires des élasticités pour analyser la sensibilité de résultats suite à une variation aléatoire des valeurs d'élasticités. A cet effet, une fonction de distribution uniforme a été considérée. Ces variations sont considérées dans un intervalle entre -25% et 25% de la valeur centrale.

D'autant plus que l'idée principale de cet exercice est de voir comment les résultats changent avec une modification d'élasticités, la taxe de carbone a été maintenue fixe lors de trois des simulations. La première simulation consiste à rouler le modèle avec des valeurs centrales en utilisant les élasticités de base de l'étude ( $\sigma = \sigma_0$ )<sup>6</sup>. Dans le deuxième cas, la simulation est faite avec les valeurs aléatoires ( $\sigma = \sigma_0 \times \mu_{sens}$ )<sup>7</sup> pour 100 tirages.

### 4.1. Impact de la taxe de carbone sur l'économie

Il est important de connaître l'impact de la nouvelle taxe carbone sur les variables macroéconomiques, avant d'analyser les impacts de la variation des élasticités de substitutions dans le modèle.

À la suite de l'adoption de la taxe de carbone, toute chose restant égale par ailleurs, les résultats indiquent que le secteur de l'énergie est le plus affecté. Néanmoins, les secteurs qui utilisent l'énergie comme intrant sont aussi affectés. La capacité du secteur énergétique à influencer tout le marché dépend de l'effet de substitution et l'effet d'échelle. L'investissement baisse de 11.63% pour l'énergie, cela implique une chute pour la demande du capital et du travail dans ce secteur. Cette baisse du capital se reflète sur l'économie entière avec une baisse de 3.76% du loyer du capital. Par l'effet de substitution, nous observons une hausse de la

---

<sup>6</sup>  $\sigma$  représente l'élasticité.

<sup>7</sup>  $\mu_{sens}$  représente le paramètre aléatoire pour exécuter l'analyse de sensibilité sur l'élasticité.

demande du capital et du travail dans les autres secteurs de l'économie. Mais l'effet d'échelle l'emporte sur l'effet de substitution. D'où, l'économie n'enregistre pas une augmentation globale en capitale.

**Table 4.1** – Variation en pourcentage des principaux agrégats économiques (cas 1)

<b>Variables</b>	<b>Changement</b>
Loyer du capital	-3.76
Taux de salaire nominal	0.20
Revenu disponible des ménages	-0.43
Épargne des ménages	-0.43
Épargne des entreprises	-3.76
Revenu du gouvernement	1.10
Épargne du gouvernement en pourcentage du revenu de base	1.60
Épargne totale	-1.10
Exportation totale	-0.91
Importation totale	-1.02
Taux d'échange réel des exportations	0.77
Taux d'échange réel des importations	0.77
PIB réel aux prix du marché	-0.06
Variation équivalente en unité de la MSC	312.93
Variation équivalente en pourcentage des dépenses de consommation de référence	0.04

*Source : Résultats de simulations*

Avec la mise en place de cette politique, le revenu du gouvernement augmente de 1.10% qui, par la suite élèvera son épargne d'une valeur 1.60% en fonction de son revenu de base, et celui-ci affecte, par la suite, l'investissement public. Les ménages et les entreprises sont les plus affectés par cette nouvelle taxe introduite par le gouvernement. Les résultats du modèle nous confirment ce fait avec une baisse du revenu disponible des ménages de 0.43%. Ainsi, cette baisse du revenu affecte l'épargne des ménages qui enregistre une baisse de 0.43%. En suivant la même logique, le revenu des entreprises diminue suite à l'adoption de la taxe carbone. Cette baisse se reflète sur son épargne qui est affecté négativement avec une baisse de 3.76%.

**Table 4.2** – Variation en pourcentage des principaux agrégats économiques par secteur (cas 1)

<b>Industries</b>	<b>Agriculture</b>	<b>Extraction</b>	<b>Energie</b>	<b>Manufacture</b>	<b>Services</b>
Prix de l'output	-0.88	-0.96	1.68	-0.54	-0.82
Prix du valeur ajoutée	-2.15	-1.95	-3.36	-1.36	-1.16
Prix du composite valeur ajoutée-energie	-1.06	-1.09	2.31	-0.33	-0.87
Prix des intrants intermédiaires	-0.74	-0.73	-0.79	-0.66	-0.75
Prix de biens domestiques	-1.07	-1.49	2.92	-1.10	-0.86
Prix de biens du composite valeur ajoutée-energie	-0.92	-1.21	2.15	-0.54	-0.83
Offre totale de biens	3.79	2.70	-29.21	3.71	0.46
Demande du composite valeur ajoutée-énergie	4.17	2.96	-30.08	3.28	0.55
Demande de la valeur ajoutée	5.21	3.78	-26.40	4.26	0.82
Volume des intrants intermédiaires	3.51	2.23	-25.65	3.96	0.32
Demande du capital	6.80	5.53	-26.12	6.59	3.27
Demande du travail	2.99	1.76	-28.76	2.79	-0.42
Offre de produits exportés	5.64	10.97	-38.02	4.83	2.13
Demande de biens domestiques	3.40	-1.60	-21.99	2.54	0.37
Demande de produits importés	1.21	-4.52	-17.38	0.30	-1.35
Demande totale de biens	3.09	-2.17	-20.82	1.39	0.30
Demande de ménages	0.71	1.15	-15.49	0.14	0.57
Demande de biens investissements	-0.19	0.10	-11.63	-0.57	-0.28
Demande pour les biens intermédiaires	3.59	-2.23	-22.19	2.10	0.39

Source : *Résultats de simulations*

Comme nous pouvons l'observer dans les résultats présentés dans cette section, l'épargne des ménages et des entreprises diminue et, ces derniers affectent l'épargne totale de l'économie qui diminue de 1.10%. Ceci révèle que l'augmentation de l'épargne publique n'est pas suffisante à elle seule pour augmenter l'épargne totale.

Les résultats indiquent une augmentation de la demande des biens et services dans les secteurs qui ne sont pas directement affectés par la politique adoptée par le gouvernement. Cependant, les secteurs qui dépendent de l'énergie, tel que l'extraction, ne bénéficient pas de cette hausse. Par contre, ils sont les plus affectés, et cela se manifeste par une diminution de la demande de ces secteurs. La demande des autres biens n'étant pas capable d'élever le niveau global de la demande, l'indice des prix à la consommation présente aussi une baisse.

Le Produit Intérieur Brut (PIB) aux prix du marché indique une baisse de 0.06%. Ceci indique qu'en dépit de l'augmentation de recettes du gouvernement suite à la nouvelle taxe carbone, le reflet sur le PIB est plutôt négatif. Toutefois, cet impact négatif sur le PIB est faible d'autant plus que dans ce modèle, l'offre du travail est considérée exogène et l'hypothèse de plein emploi est adoptée. Néanmoins, nous constatons une augmentation de 0.20% du taux de salaire nominal.

Malgré les impacts négatifs observés suite à cette nouvelle politique du gouvernement, le bien-être de ménages indique une amélioration. Les résultats des simulations suggèrent une augmentation de 0.04% de la variation équivalente. La variation équivalente peut être définie comme étant une mesure de changement du niveau du bien-être de ménages suite à un changement de prix. D'où, la nouvelle taxe du gouvernement, bien qu'en réduisant le revenu des ménages, affecte leur bien-être positivement. Une manière d'expliquer cela est que le gouvernement peut décider d'augmenter les transferts aux ménages (*TRGM*) suite à une baisse de leurs revenus. Le niveau des importations diminue suite à la baisse de la demande domestique comme nous renseignent les résultats des simulations.

## **4.2. Analyse de sensibilité**

La question ici est de savoir si les résultats du modèle sont sensibles à une variation des élasticités de substitutions. Nous utilisons la valeur moyenne de 100 tirages lors de la simulation et leurs coefficients de variation. Le coefficient de variation est une mesure qui détermine le degré de dispersion d'un ensemble de valeurs, en exprimant la valeur relative de l'écart type par rapport à la moyenne, en pourcentage. Généralement, plus la valeur du coefficient de variation est élevée, plus la dispersion est importante dans les résultats.

L'idée de cette analyse de sensibilité des élasticités est d'examiner les sens de direction des variations de variables obtenues dans la deuxième simulation. Cela étant, nous allons faire une comparaison des résultats de la première simulation et ceux de la seconde. Comme il a été mentionné précédemment, à chaque simulation, nous avons obtenu plusieurs valeurs, qui nous ont permis ensuite de calculer la moyenne et l'écart-type de ces dernières afin d'obtenir la valeur du coefficient de variation.

D'une manière générale, les résultats de la deuxième simulation indiquent que les moyennes obtenues vont dans la même direction que les valeurs obtenues dans la première simulation (le cas central). Seule la variation équivalente en pourcentage des dépenses de consommation de référence change de direction, c'est-à-dire, l'adoption par le gouvernement d'une taxe carbone a un impact négatif sur le bien-être de la population si nous considérons une variation des élasticités de substitution. Le coefficients de variation de la majorité de variables est inférieur à 15%, ceci indique une faible dispersion des valeurs utilisées pour calculer la moyenne, d'où l'homogénéité de ces valeurs.

La simulation avec les nouvelles élasticités de substitution indique une baisse du PIB aux prix du marché de 0.07% (0.06% dans le premier cas). Le coefficient de variation de 100 valeurs trouvées est de 7.61%. D'où, nous pouvons affirmer que ces variables sont homogènes.

**Table 4.3** – Valeur moyenne en pourcentage des principaux agrégats économiques (cas 2)

<b>Variable</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Ecart type</b>	<b>Coefficient de variation</b>
Loyer du capital	-3.20	0.16	-4.92%
Taux de salaire nominal	0.02	0.14	703.57%
Épargne des ménages	-0.48	0.08	-16.27%
Revenu disponible des ménages	-0.48	0.08	-16.27%
Épargne des entreprises	-3.20	0.16	-4.92%
Revenu du gouvernement	1.21	0.05	4.18%
Épargne du gouvernement en pourcentage du revenu de base	1.63	0.03	1.86%
Épargne totale	-0.51	0.13	-25.22%
Exportation totale	-0.86	0.10	-11.53%
Importation totale	-0.96	0.11	-11.53%
Taux d'échange réel des exportations	0.57	0.05	8.19%
Taux d'échange réel des importations	0.57	0.05	8.19%
PIB aux prix du marché	-0.07	0.00	-7.63%
Indice des prix à la consommation	-0.48	0.08	-16.27%
Variation équivalente en pourcentage des dépenses de consommation de référence	-0.14	0.05	-39.51%

*Source : Résultats de simulations*

Bien qu'en ayant de résultats proches de ceux obtenus lors de la première simulation, le taux de salaire nominal, la variation équivalente en pourcentage de la consommation de référence, l'épargne totale et l'indice des prix à la consommation ont une grande dispersion parmi les valeurs utilisées pour les calculs de la moyenne. Toutefois, la direction de la variation de ces variables est la même que celle de la première simulation.

Du point de vue sectoriel, les résultats vont dans la même direction que les variables de la première simulation. Le secteur énergétique est de nouveau le plus affecté avec une baisse considérable de la demande du capital et du travail, respectivement 20.46% et 22.73%. Le coefficient de variation de ces variables indique une faible dispersion parmi les cent valeurs utilisées pour le calcul de la moyenne.

**Table 4.4** – Valeur moyenne en pourcentage des principaux agrégats économiques par secteur (cas 2)

<b>Industries</b>	<b>Agriculture</b>	<b>Extraction</b>	<b>Energie</b>	<b>Manufacture</b>	<b>Services</b>
Prix de l'output	-0.65	-0.74	2.18	-0.37	-0.72
Indice de prix du valeur-ajoutée	-1.88	-1.73	-2.87	-1.25	-1.08
Indice de prix des du composite valeur ajoutée-énergie	-0.76	-0.83	2.90	-0.16	-0.77
Prix des intrants intermédiaires	-0.58	-0.59	-0.64	-0.50	-0.63
Prix de bien domestiques	-0.79	-1.13	3.92	-0.77	-0.75
Prix de biens du composite valeur ajoutée-énergie	-0.65	-0.74	2.18	-0.37	-0.72
Offre totale de biens	2.65	-0.62	-23.74	2.50	0.38
Demande du composite valeur ajoutée-énergie	2.86	-0.46	-24.82	2.08	0.50
Demande de la valeur ajoutée	3.92	0.35	-20.70	3.07	0.79
Volume des intrants intermédiaires	-0.58	-0.59	-0.64	-0.50	-0.63
Demande du capital	5.20	1.74	-20.46	4.93	2.74
Demande du travail	2.13	-1.25	-22.73	1.90	-0.20
Offre de produits exportés	3.96	0.86	-26.92	3.26	1.83
Demande de biens domestiques	2.37	-1.39	-21.15	1.70	0.31
Demande de produits importés	0.78	-3.58	-14.96	0.15	-1.19
Demande totale de biens	2.15	-1.81	-19.58	0.91	0.24
Demande de ménages	0.39	0.75	-16.58	-0.09	0.44
Demande de biens investissements	0.18	0.41	-11.73	-0.13	0.21
Demande des Intrans intermédiaire	2.50	-1.87	-20.45	1.40	0.19

Source : Résultats de simulations

Le même constat est fait pour d'autres agrégats macroéconomiques sectoriels considérés dans ce modèle, c'est-à-dire, les résultats obtenus dans la deuxième simulation, en grande majorité, vont dans la même direction que les résultats de la première simulation. Aussi nous observons une faible hétérogénéité dans les valeurs utilisées pour calculer les moyennes.

**Table 4.5** – Coefficient de variation en pourcentage des principaux agrégats économiques par secteur (cas 2)

<b>Industries</b>	<b>Agriculture</b>	<b>Extraction</b>	<b>Energie</b>	<b>Manufacture</b>	<b>Services</b>
Prix de l'output	-5.63%	-4.64%	5.26%	-9.51%	-5.98%
Indice de prix du valeur-ajoutée	-2.60%	-2.28%	-4.49%	-2.99%	-4.41%
Indice de prix des du composite valeur ajoutée-énergie	-7.47%	-5.22%	5.02%	-21.49%	-5.82%
Prix des intrants intermédiaires	-6.04%	-6.44%	-5.90%	-7.23%	-6.37%
Prix de bien domestiques	-5.63%	-4.65%	5.27%	-9.52%	-5.99%
Prix de biens du composite valeur ajoutée-energie	-5.63%	-4.64%	5.26%	-9.51%	-5.98%
Offre totale de biens	5.64%	-35.49%	-3.98%	6.40%	11.97%
Demande du composite valeur ajoutée-énergie	5.74%	-48.83%	-3.79%	7.25%	8.66%
Demande de la valeur ajoutée	5.73%	69.42%	-4.75%	7.11%	6.63%
Volume des intrants intermédiaires	-6.04%	-6.44%	-5.90%	-7.23%	-6.37%
Demande du capital	7.20%	20.04%	-4.85%	7.26%	7.42%
Demande du travail	15.83%	-27.10%	-4.29%	14.67%	-34.13%
Offre de produits exportés	7.30%	46.26%	-4.42%	6.74%	13.04%
Demande de biens domestiques	5.84%	-13.01%	-4.06%	8.22%	14.26%
Demande de produits importés	32.28%	-8.55%	-7.98%	62.22%	-16.89%
Demande totale de biens	6.17%	-9.61%	-4.34%	8.12%	17.35%
Demande de ménages	38.11%	25.34%	-12.30%	-81.48%	22.58%
Demande de biens investissements	60.04%	25.54%	-0.36%	-98.54%	69.02%
Demande des Intrans intermédiaire	6.23%	-9.54%	-4.55%	7.82%	33.97%

*Source : Résultats de simulations*

## CHAPITRE 5: Conclusion

Cette étude avait pour objectif principal d'examiner la sensibilité des impacts économiques de la taxe carbone sur l'économie canadienne, en utilisant une version statique du Modèle d'équilibre général calculable (MEGC) multisectoriel de cette économie. Pour cela, une taxe carbone d'une valeur de 10% a été utilisée, ensuite deux simulations ont été effectuées en utilisant les élasticités de base (cas central) et les variables aléatoires des ces élasticités, afin d'analyser la sensibilité des résultats du modèle. Pour ce faire, nous avons considéré une fonction de distribution uniforme dont les variations des élasticités sont considérées dans un intervalle entre -25% et 25% de la valeur centrale.

Les résultats indiquent que la taxe carbone augmente le revenu public en amont, mais en aval les effets sont négatifs pour l'économie en générale. Par exemple, le PIB aux prix du marché indique une baisse de 0.06%. Toutefois, cet impact négatif sur le PIB est faible d'autant plus que dans ce modèle, l'offre du travail est considérée exogène et l'hypothèse de plein emploi est adoptée. Néanmoins, le bien-être des ménages augmente, en d'autres termes, les familles ont une vie meilleure qu'avant en termes d'utilité. Concernant la sensibilité, d'une manière générale, les résultats des simulations avec différents ensembles d'élasticités indiquent que le modèle produit des résultats moins sensibles suite à une variation de l'ensemble des paramètres d'élasticités de substitutions.

Seule la variation équivalente en pourcentage des dépenses de consommation de référence change de direction, c'est-à-dire, l'adoption par le gouvernement d'une taxe carbone a un impact négatif sur le bien-être de la population si nous considérons une variation des élasticités de substitution. La simulation avec les nouvelles élasticités de substitution indique une baisse du PIB aux prix du marché de 0.07%. Le coefficient de variation de 100 valeurs trouvées est de 7.61%.

D'où, nous pouvons affirmer que ces variables sont homogènes.

## REFERENCES

- ANTIMIANI, Alessandro, Valeria COSTANTINI et Elena PAGLIALUNGA (2015). *An analysis of the sensitivity of a dynamic climate-economy CGE model (GDynE) to empirically estimated energy-related elasticity parameters*. Rapp. tech. SEEDS, Sustainability Environmental Economics et Dynamics Studies.
- BENAVENTE, José Miguel García (2016). "Impact of a carbon tax on the Chilean economy : A computable general equilibrium analysis". *Energy Economics*, 57, p. 106-127.
- Dissou, Yazid (2005). "Cost-effectiveness of the performance standard system to reduce CO2 emissions in Canada : a general equilibrium analysis". *Resource and Energy Economics*, 27.3, p. 187-207.
- GAO, Pengfei et Wenying CHEN (2002). "Carbon tax and carbon emission". *Journal- Tsinghua University* 42.10, p. 1335-1338.
- GOLUB, Alla (2013). *Analysis of Climate Policies with GDyn-E*. Rapp. tech. GTAP Technical Paper No. 32. Center for Global Trade Analysis.
- HAMBY, David M (1994). "A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models". *Environmental Monitoring and Assessment* 32.2, p. 135- 154.
- HERTEL, Thomas et al. (2007). "How confident can we be of CGE-based assessments of Free Trade Agreements ?" *Economic Modelling*, 24.4, p. 611-635.
- HILLBERRY, Russell et David HUMMELS (2013). "Trade elasticity parameters for a computable general equilibrium model". *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*. T. 1. Elsevier, p. 1213-1269.
- HOGAN, William W et AS MANNE (1977). *Energy-economy interactions : the fable of the elephant and the rabbit ? Working EMF no. 1.3, Energy Modeling Forum*.

- HUGON, Philippe (2005). “Environnement et développement économique : les enjeux posés par le développement durable”. *Revue internationale et stratégique* 4, p. 113-126.
- KEMFERT, Claudia (1998). “Estimated substitution elasticities of a nested CES production function approach for Germany”. *Energy Economics*, 20.3, p. 249-264.
- KOETSE, Mark J, Raymond JGM FLORAX et Henri LF DE GROOT (2008). “Capital-energy substitution and shifts in factor demand : A meta-analysis”. *Energy Economics*, 30.5, p. 2236-2251.
- METCALF, Gilbert E (2009). “Designing a carbon tax to reduce US greenhouse gas emissions”. *Review of Environmental Economics and Policy*, 3.1, p. 63-83.
- NÉMETH, Gabriella, László SZABÓ et Juan-Carlos CISCAR (2011). “Estimation of Armington elasticities in a CGE economy–energy–environment model for Europe”. *Economic Modelling*, 28.4, p. 1993-1999.
- POTERBA, James M (1991). *Tax policy to combat global warming : on designing a carbon tax*. Rapp. tech. National Bureau of Economic Research.
- STERN, Nicholas (2007). *The Economics of Climate Change : the Stern Review*. Cambridge University Press.
- TELAYE, Andualem, Benitez, Pablo et Tamru, Seneshaw. (2019). “Exploring Carbon Pricing in Developing Countries: A Macroeconomic Analysis in Ethiopia”. *Sustainability*, 11.16, p. 4395.
- WISSEMA, Wiepke et Rob DELLINK (2007). “AGE analysis of the impact of a carbon energy tax on the Irish economy”. *Ecological Economics*, 61.4, p. 671-683.
- ZHA, Donglan et Ning DING (2014). “Elasticities of substitution between energy and non-energy inputs in China power sector”. *Economic Modelling* 38, p. 564-571.

Zhou, Shenglü, Shi, Minjun et Na Yuan (2011). “Impacts of carbon tax policy on CO2 mitigation and economic growth in China”. *Advances in Climate Change Research*, 2.3, p. 124-133.