

Carbon Pricing and Green Subsidies: What Is the Optimal Combination of the Two?

Riyad Abbas, Mathieu Fouquet and Alexandre Godzinski

Online Appendix

Description détaillée du modèle

Le modèle Vulcain est programmé en GAMS/MPSGE. GAMS est un logiciel se servant d'un langage algébrique facilitant la conception des modèles EGC, notamment grâce à l'écriture synthétique d'équations reposant sur la définition et la manipulation d'ensembles (e.g. régions, biens, agents...). MPSGE, lui, est un sous-système de GAMS simplifiant la définition des fonctions de production CES, qui se fait sur la base d'un schéma prédéfini. Le solveur PATH/MCP a été utilisé pour résoudre le modèle dans les différents scénarios.

1. Le ménage

Le ménage maximise son utilité sous contrainte budgétaire. Son utilité provient de la consommation de deux biens : 1) un agrégat composite découlant de la consommation du bien générique et de l'investissement, appelé demande finale ; 2) le loisir (temps libre), qui correspond au temps non travaillé, et dont le prix est le coût d'opportunité du travail. Le ménage arbitre ainsi entre travail et loisir : soit il travaille, et reçoit en échange un salaire qui élargit ses possibilités de consommation, soit il demande du loisir et renonce à la consommation supplémentaire à laquelle il aurait pu prétendre en travaillant plus. Ces préférences du ménage sont représentées par une fonction CES (*constant elasticity of substitution*).

Le ménage est considéré comme détenteur des deux facteurs de production primaires, le travail et le capital, qu'il met à la disposition des secteurs productifs de l'économie nationale (ni le travail ni le capital ne sont mobiles internationalement), en échange d'une rémunération (le salaire pour le travail et le taux d'intérêt pour le capital). En outre, il se voit reverser forfaitairement l'intégralité des recettes des taxes prélevées par l'Etat au niveau national. Le travail non alloué dans les entreprises est utilisé par le ménage sous forme de loisir.

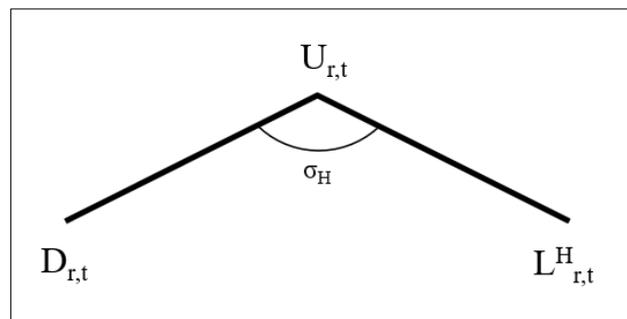
À l'équilibre, la contrainte budgétaire est saturée : l'intégralité du revenu du ménage est dépensée.

On a ainsi :

$$r_{r,t} \cdot \bar{K}_{r,t} + w_{r,t} \cdot \bar{L}_{r,t} + T_{r,t} = p_{Y,r,t} \cdot D_{r,t} + w_{r,t} \cdot L_{r,t}^H$$

où $\bar{K}_{r,t}$ (resp. $\bar{L}_{r,t}$) est la dotation en capital (resp. en travail) du ménage de la région r à la date t ; $r_{r,t}$ (resp. $w_{r,t}$) est le taux d'intérêt (resp. le salaire) ; $T_{r,t}$ est le transfert reçu par le ménage ; $D_{r,t}$ est le volume de demande finale en bien générique et $p_{Y,r,t}$ son prix ; $L_{r,t}^H$ est la quantité de loisir utilisée par le ménage (figure S-I).

Figure S-I – Fonction d'utilité des ménages



Note : $U_{r,t}$ est l'utilité du ménage de la région r à la date t , $D_{r,t}$ représente sa demande finale, et $L_{r,t}^H$ représente la quantité de loisir demandée. Le partage entre demande finale et loisir s'effectue grâce à une fonction CES dont l'élasticité de substitution est σ_H .

2. Les entreprises

Carbon Pricing and Green Subsidies: What Is the Optimal Combination of the Two?

Riyad Abbas, Mathieu Fouquet and Alexandre Godzinski

Online Appendix

Les entreprises maximisent leur profit sous contrainte de technologie (représentée par leurs fonctions de production) et de prix. Elles déterminent leurs demandes d'intrants à cet effet.

Tous les secteurs sont soumis aux conditions de la concurrence pure et parfaite : les entreprises sont donc preneuses de prix, à la fois pour le bien qu'elles produisent et pour les intrants qu'elles utilisent dans leurs processus de production (capital, travail et énergies). Les secteurs de l'énergie (extraction de produits fossiles et production d'électricité) font l'objet d'une modélisation spécifique. Le reste des secteurs est agrégé sous la forme des quatre secteurs génériques.

Les entreprises considérées sont les suivantes : les quatre secteurs productifs des biens finaux (biens exposés brun et vert, biens abrités brun et vert), le secteur extractif de produits fossiles et le secteur de production de l'électricité.

2.1. Les quatre secteurs de production de biens

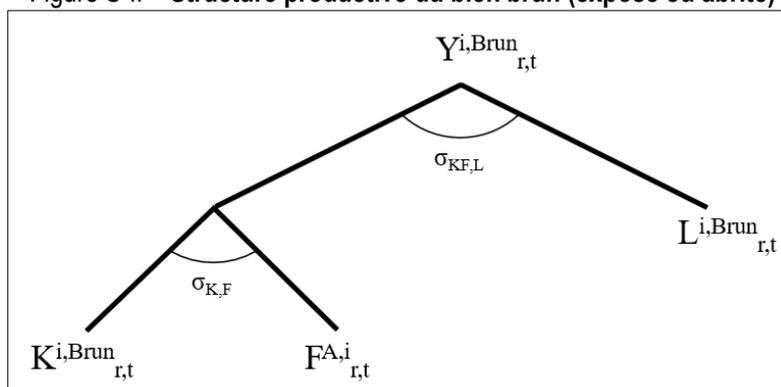
Les biens génériques sont au nombre de quatre : les biens exposés brun et vert, et les biens abrités brun et vert. De là découle une symétrie, dans la structure productive, entre secteurs exposés et secteurs abrités.

Les quatre biens ont une structure de production CES analogue. Elle combine, en deux étapes, trois facteurs : capital, travail et énergie. Au niveau inférieur, énergie et capital se combinent en un bien agrégé ; au niveau supérieur, ce dernier est associé au travail.

Cette spécification des fonctions de production, où un agrégat capital-énergie est combiné au travail, est dans la lignée de la fonction de production des firmes telle que représentée dans l'article de Henriët *et al.* (2014).

La fonction de production du bien brun utilise pour seule énergie le produit fossile (figure S-II). À l'inverse, la fonction de production du bien vert repose uniquement sur l'énergie électrique (figure S-III), mais cette dernière peut être en partie produite avec de l'énergie fossile.

Figure S-II – Structure productive du bien brun (exposé ou abrité)



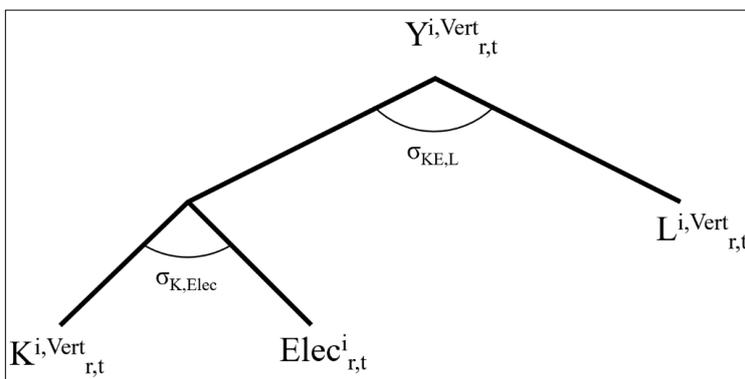
Note : $Y^{i,Brun}_{r,t}$ représente la production de bien brun de type i (i.e. exposé ou abrité) dans la région r à la date t . Cette production s'effectue selon une fonction CES d'élasticité de substitution $\sigma_{K,F,L}$ entre un agrégat «capital-énergie» et le travail. L'agrégat «capital-énergie» est une fonction CES d'élasticité de substitution $\sigma_{K,F}$ entre le capital et un agrégat fossile $F^{A,i}_{r,t}$ combinant le produit fossile produit nationalement et le fossile importé (A pour Armington, pour signifier l'agrégation des fossiles issus des différentes régions en un seul bien).

Carbon Pricing and Green Subsidies: What Is the Optimal Combination of the Two?

Riyad Abbas, Mathieu Fouquet and Alexandre Godzinski

Online Appendix

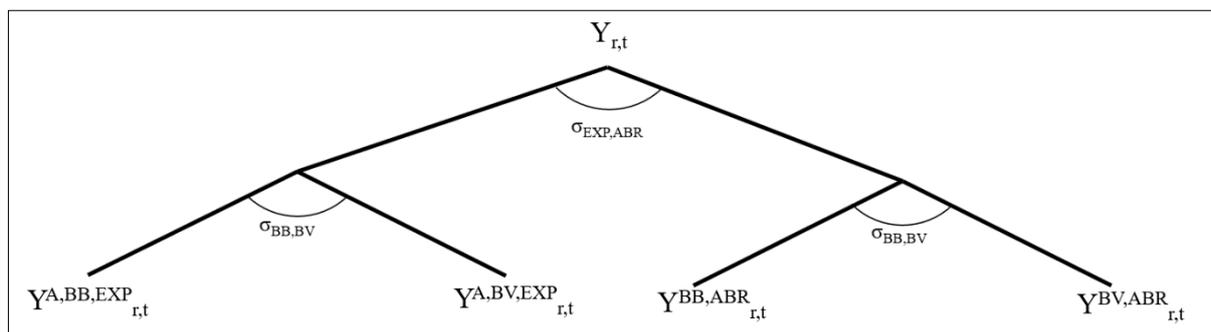
Figure S-III – Structure productive du bien vert (exposé ou abrité)



Note : $Y^{i,Vert}_{r,t}$ représente la production de bien vert de type i (i.e. exposé / abrité) dans la région r à la date t . Cette production s'effectue selon une fonction CES d'élasticité de substitution $\sigma_{KE,L}$ entre un agrégat « capital-énergie » et le travail. L'agrégat « capital-énergie » est une fonction CES d'élasticité de substitution $\sigma_{K,Elec}$ entre le capital et l'électricité utilisée pour la production de ce bien vert.

La différence entre secteurs exposés et abrités se manifeste par le degré d'exposition au commerce international, les biens abrités n'étant pas substituables entre variétés régionales, tandis que les biens exposés le sont (cf. figure S-IV).

Figure S-IV – Combinaison productive des quatre biens génériques en un bien générique agrégé



Note : $Y_{r,t}$ représente la production globale de bien générique agrégé dans la région r à la date t . Cette production s'effectue selon une fonction CES, d'élasticité de substitution $\sigma_{EXP,ABR}$, entre un agrégat exposé et un agrégat abrité. L'agrégat exposé est une fonction CES, d'élasticité de substitution $\sigma_{BB,BV}$, entre le bien brun exposé (BB, EXP) d'Armington (A) et le bien vert (BV, EXP) exposé d'Armington ; l'agrégat abrité est une fonction CES d'élasticité de substitution $\sigma_{BB,BV}$ entre le bien brun abrité (BB, ABR) et le bien vert abrité (BV, ABR).

2.2. Le secteur extractif du produit fossile

Seul un facteur entre dans la fonction de production du secteur extractif fossile : le capital. C'est une simplification, permise par la nature fortement capitalistique de leur activité. Ainsi, ni le travail ni les consommations intermédiaires d'énergies ne figurent comme intrants.

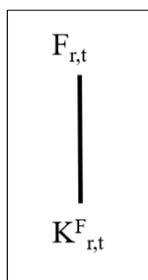
La fonction de production est une CES à un seul facteur, soit une simple relation linéaire entre quantité produite et capital (figure S-V).

Carbon Pricing and Green Subsidies: What Is the Optimal Combination of the Two?

Riyad Abbas, Mathieu Fouquet and Alexandre Godzinski

Online Appendix

Figure S-V – Structure productive du secteur extractif fossile

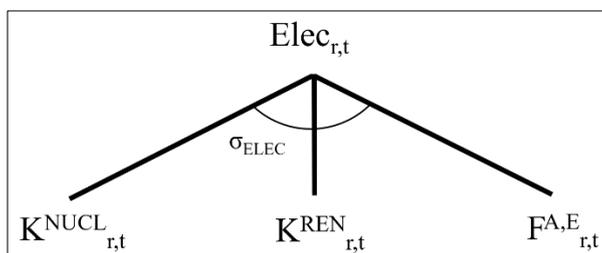


Note : $F_{r,t}$, exprimé en unité physique, représente la production du produit fossile de la région r à la date t , produite à partir du stock de capital $K^F_{r,t}$.

2.3. Le secteur de production d'électricité

La production d'électricité repose sur différents modes de production. Elle se fait à partir d'énergie nucléaire, de renouvelables ou de fossile. Chaque mode de production est représenté par une fonction CES, les différentes CES s'agencent au niveau supérieur pour générer l'électricité finale. Cette description de la structure du secteur électrique, via une CES à plusieurs niveaux, s'inspire de celles utilisées dans les modèles mondiaux EPPA et ENV-Linkages. La représentation du processus de production est stylisée mais réaliste : seul le facteur de production principal (dont le coût domine celui des autres) est retenu¹ : pour le nucléaire et le renouvelable, le seul facteur de production utilisé est le capital. Pour l'électricité produite par combustion du produit fossile, celui-ci est le seul intrant (figure S-VI).

Figure S-VI – Structure de production du secteur électrique



Note : $Elec_{r,t}$ représente la production d'électricité de la région r à la date t . Cette production s'effectue selon une fonction CES d'élasticité de substitution σ_{ELEC} entre la production d'électricité d'origine nucléaire, celle d'origine renouvelable et celle d'origine fossile. Pour le nucléaire et le renouvelable, la production se fait uniquement à partir du stock de capital $K^e_{r,t}$; et pour l'électricité d'origine fossile, uniquement à partir du produit fossile en quantités $F^{A,E}_{r,t}$ (A pour Armington, pour signifier l'agrégation des fossiles issus des différentes régions en un seul bien).

¹ Voir par exemple Pisani-Ferry & Mahfouz (2022, p. 4), qui montrent que 80 %, voire 90 % du coût complet de la production électrique d'origine fossile provient des coûts d'exploitation et des coûts de combustibles, alors que pour l'électricité d'origine nucléaire ou renouvelable ce sont les coûts en capital (construction, financement) qui dominent largement.

Carbon Pricing and Green Subsidies: What Is the Optimal Combination of the Two?

Riyad Abbas, Mathieu Fouquet and Alexandre Godzinski

Online Appendix

3. L'État

L'État collecte les taxes dans sa région, et les reverse intégralement et de façon forfaitaire aux ménages. Ainsi, le budget de l'État est par construction toujours à l'équilibre.

Parmi les taxes, certaines sont de nature non énergétique : la taxe sur la valeur ajoutée, la taxe sur les revenus du travail (cotisations sociales salariales et patronales) et la taxe sur les revenus du capital. S'y ajoutent des taxes sur les énergies, lesquelles ne sont prélevées qu'auprès des secteurs d'activité abrités : la taxe sur l'énergie fossile (proportionnelle à son contenu en CO₂, à l'instar d'une taxe carbone) et la taxe sur l'électricité. Dans les simulations effectuées dans l'étude, une tarification du carbone est appliquée à l'ensemble de l'économie sous forme de marché de quotas d'émissions, ces quotas se superposant à la taxe sur l'énergie fossile préexistante dans le secteur brun abrités, afin d'atteindre certaines cibles de réduction des émissions.

Les taxes non énergétiques sont des taxes ad-valorem, c'est-à-dire calculées sur la base de la valeur d'un bien (prix fois quantité). Les taxes énergétiques, en revanche, sont des accises sur les volumes de combustibles fossiles ou d'électricité (mesurées par exemple en euros par MWh).

4. Le commerce international

Vulcain est un modèle multi-pays qui représente le commerce des biens (importations et exportations) entre la France, le reste de l'UE et le reste du monde. Cependant, dans cet article seuls les résultats pour l'Union européenne dans son ensemble sont présentés, en regroupant après simulation la France et le reste de l'UE.

Deux types de marchés peuvent être distingués : les marchés ouverts, dont les biens sont échangés entre régions, et les marchés fermés, qui ne produisent que pour leur propre région et n'importent pas.

Parmi les marchés ouverts, on compte : les deux biens génériques exposés (brun et vert), ainsi que la consommation de produit fossile par les deux secteurs produisant les biens bruns et par le secteur électrique fossile².

Parmi les marchés fermés figurent le travail et le capital, mobiles entre les secteurs mais pas entre les régions, les deux biens génériques abrités (le brun et le vert) et l'électricité. Cette dernière hypothèse se justifie par la faible quantité d'électricité échangée entre régions dans la réalité, relativement aux quantités produites.

Le commerce international des biens est modélisé d'après l'hypothèse d'Armington. Selon celle-ci, un même bien, produit par différentes régions, n'est pas totalement identique. Il existe certaines caractéristiques qui amènent les consommateurs et les producteurs à distinguer les variétés et à les considérer comme imparfaitement substituables. Ainsi, le choix entre les variétés régionales d'un même bien est représenté sous la forme de fonctions de production ou d'utilité CES (figure S-VII). Dans le cas d'un bien générique exposé, celle-ci s'écrit de la façon suivante :

$$Y_{r_1,t}^{A,EXP,S} = \left(\sum_{r_2} A_{r_1,r_2}^{Y,A,EXP,S} (Y_{r_1,r_2,t}^{EXP,S})^{\frac{\sigma_{Y,A,EXP}-1}{\sigma_{Y,A,EXP}}} \right)^{\frac{\sigma_{Y,A,EXP}}{\sigma_{Y,A,EXP}-1}}$$

² Les droits de douane, relatifs au commerce entre la France, l'UE et le reste du monde, ne sont pas pris en compte.

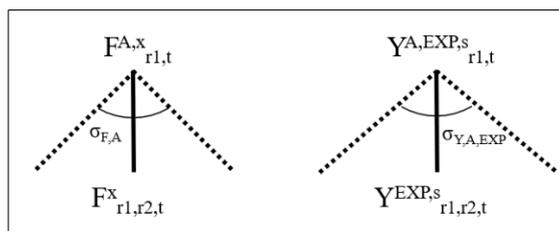
Carbon Pricing and Green Subsidies: What Is the Optimal Combination of the Two?

Riyad Abbas, Mathieu Fouquet and Alexandre Godzinski

Online Appendix

où $Y_{r_1,t}^{A,EXP,s}$ est l'offre de bien générique exposé de type s (avec s la distinction brun / vert) de la région r_1 à la date t , $Y_{r_1,r_2,t}^{EXP,s}$ est la demande de bien générique exposé de type s par la région r_1 et produit par la région r_2 , $\sigma_{Y,A,EXP}$ l'élasticité d'Armington des secteurs exposés, les $A_{r_1,r_2}^{Y,A,EXP,s}$ étant les paramètres d'échelle.

Figure S-VII – Marchés ouverts internationalement : énergies fossiles (à gauche) et biens génériques exposés (à droite)



Note : $FA_{r_1,t}^x$ (resp. $YA_{r_1,t}^{EXP,s}$) représente l'énergie fossile (resp. le bien générique exposé de type s) utilisés dans la région r_1 pour produire le bien x (électricité ou bien brun exposé ou abrité). C'est un agrégat de l'ensemble des produits fossiles $F_{r_1,r_2,t}^x$ (resp. biens génériques exposés $Y_{r_1,r_2,t}^{EXP,s}$) produits dans chaque région r_2 à destination de la région r_1 . Cette agrégation s'effectue selon une fonction CES d'élasticité de substitution $\sigma_{F,A}$ (resp. $\sigma_{Y,A,EXP}$) qui traduit l'imparfaite substitution entre les biens produits dans les différentes régions, conformément à l'hypothèse d'Armington (d'où le A en exposant).

5. L'équilibre des marchés

Conformément à la modélisation en équilibre général, chaque marché se trouve à l'équilibre, ce qui signifie que pour chacun d'eux l'offre est égale à la demande.

Sur le marché du capital, l'offre émane du ménage, la demande provenant des quatre secteurs génériques, des sous-secteurs électriques non fossiles et du secteur extractif fossile.

Sur le marché du travail, l'offre émane également du ménage. Les demandes de travail sont exprimées par les quatre secteurs génériques et par le ménage lui-même (via sa demande de loisir, assimilée ici à une demande de travail).

Sur le marché de l'électricité, l'offre provient du secteur électrique, les demandes venant des secteurs verts exposé et abrité.

Sur les marchés ouverts internationalement s'applique la logique décrite précédemment avec l'hypothèse d'Armington. Chaque secteur national ouvert égalise son offre aux demandes émanant des trois zones (donc y compris la sienne). Pour chacun des quatre biens génériques, l'équilibre de marché s'écrit par exemple de la façon suivante dans la région r_1 :

$$Y_{r_1,t}^{i,s} = \sum_{r_2} Y_{r_2,r_1,t}^{i,s}$$

Par ailleurs, comme indiqué dans la figure VII, les quatre biens génériques d'Armington sont combinés en un seul bien générique agrégé. Enfin, les balances commerciales de chaque zone sont équilibrées en valeur.

Carbon Pricing and Green Subsidies: What Is the Optimal Combination of the Two?

Riyad Abbas, Mathieu Fouquet and Alexandre Godzinski

Online Appendix

6. Calibrage du modèle

L'année de base choisie ici est 2019. Elle correspond à l'année précédant immédiatement la crise de la Covid-19 et n'est pas perturbée non plus par la crise énergétique ayant caractérisé la période récente. Ce choix permet de prendre un point de départ acceptable pour les scénarios, car ne correspondant pas à un moment où les économies sont affectées par un choc conjoncturel majeur.

6.1. Les élasticités de substitution

Le calibrage statique des paramètres structurels est uniquement celui des élasticités de substitution propres aux différentes fonctions de production et d'utilité du modèle, qui sont toutes de type CES (tableau S-1). En effet, les paramètres d'échelle ne nécessitent pas, eux, d'être estimés préalablement. Ils peuvent être déduits à partir des valeurs des variables endogènes à l'année de base (prix et volumes des biens) et des élasticités de substitution choisies.

Comme indiqué plus haut, la structure globale de l'économie d'une région peut être représentée comme un ensemble de CES imbriquées. À chaque niveau de la structure figure un ou plusieurs nœuds, représentant des combinaisons de facteurs de production ou de biens de consommation. À chaque nœud correspond une élasticité de substitution à calibrer, sauf pour les secteurs n'utilisant qu'un seul intrant, comme le secteur extractif du produit fossile et la production d'électricité nucléaire ou renouvelable (qui utilisent le capital pour seul facteur de production).

La plupart des valeurs des élasticités de substitution choisies dans le modèle sont issues, soit de la littérature économique soit de modèles existants, notamment EPPA (Babiker *et al.*, 2001) et ENV-Linkages (Château *et al.*, 2014). Conformément à la pratique qu'on retrouve dans la plupart des modèles mondiaux, les élasticités sont supposées être les mêmes dans les trois zones, France, reste de l'UE et reste du monde :

- L'élasticité de substitution retenue entre le capital et l'énergie, qu'elle soit fossile ou électrique, est de 0,5, et celle entre l'agrégat capital-énergie et le travail est de 0,5 également, conformément à l'article de Henriët, Maggiar & Schubert (2014) ;
- L'élasticité entre bien brun et bien vert (à l'intérieur du secteur exposé et de l'abrité) est fixée à 3, d'après un travail sur l'estimation des élasticités de substitution, dans les fonctions de production CES, entre facteurs énergétiques plus ou moins carbonés (Papageorgiou *et al.*, 2017). Celle entre biens exposé et abrité (chacun résultant de l'agrégation d'un bien brun et d'un bien vert) est de 0,5 ;
- Entre les différents modes de production de l'électricité, une élasticité de 2 est supposée (Papageorgiou *et al.*, 2017 également) ;
- Les élasticités d'Armington des secteurs ouverts mondialement sont de 4 pour les secteurs brun et vert exposés et de 20 pour le produit fossile (ce qui traduit une substituabilité nettement plus forte pour le bien fossile que pour les biens génériques exposés). Ces valeurs sont issues de l'article de Hertel *et al.* (2007) ;
- Enfin, au niveau des ménages, l'élasticité retenue entre le loisir et la demande finale est fixée à 2, conformément à l'article de Boeters & Savard (2013).

Carbon Pricing and Green Subsidies: What Is the Optimal Combination of the Two?

Riyad Abbas, Mathieu Fouquet and Alexandre Godzinski

Online Appendix

Tableau S-1 – Paramètres structurels (élasticités de substitution)

| Description des paramètres | Symbole | Calibration |
|---|--------------------|-------------|
| Élasticités de substitution domestiques | | |
| Entre loisir et demande finale | σ_H | 2 |
| Entre biens exposés et abrités | $\sigma_{EG,SG}$ | 0,5 |
| Entre biens verts et bruns | $\sigma_{BG,GG}$ | 3 |
| Entre le facteur capital et le produit fossile | $\sigma_{K,F}$ | 0,5 |
| Entre le facteur capital et l'électricité | $\sigma_{K,E}$ | 0,5 |
| Entre le facteur travail et l'agrégat capital-fossile | $\sigma_{K,F,L}$ | 0,5 |
| Entre le facteur travail et l'agrégat capital-électricité | $\sigma_{K,E,L}$ | 0,5 |
| Entre modes de production d'énergie électrique | σ_{ELEC} | 2 |
| Élasticités de substitution d'Armington | | |
| Entre les biens exposés | $\sigma_{Y,A,EXP}$ | 4 |
| Entre les produits fossiles | $\sigma_{Y,A,F}$ | 20 |

6.2. Initialisation des niveaux

6.2.1. Volumes et prix

Les flux économiques du modèle – PIB, investissement et commerce extérieur (importations et exportations) – sont issus des données de l'Insee pour la France, d'Eurostat pour le reste de l'UE et de la Banque mondiale pour le reste du monde.

Pour obtenir la production, ou le commerce extérieur, d'un secteur générique, la clé de répartition suivante a été appliquée : pour chacun des quatre secteurs, chaque flux est égal au produit du flux total dans la région d'appartenance, de la part correspondant à son statut d'exposition au commerce international (exposé / abrité) et de la part relative à son contenu en carbone (brun / vert). Ces parts sont elles-mêmes obtenues en procédant à deux hypothèses stylisées : 1) la part du secteur exposé dans un flux est celle de l'industrie, le secteur abrité correspondant au reste de l'économie ; 2) la part du secteur vert dans un flux est égale à la part de l'électricité (avec une pondération basée sur des considérations physiques) dans la consommation finale d'énergie d'une région, le secteur brun se voyant attribuer le reste.

Pour les échanges de produits fossiles entre régions les données de l'Insee pour la France et d'Eurostat pour le reste de l'UE ont été mobilisées. Les données commerciales de la zone reste du monde s'en déduisent par symétrie. Pour le mix électrique, les bilans énergétiques du SDES, d'Eurostat et de l'AIE ont été mis à profit pour décomposer la production d'électricité selon ses différents modes.

Pour les énergies (fossile comme électrique), les quantités produites et consommées sont enregistrées à leur volume physique. Seules les émissions de CO₂ issues des consommations d'énergie fossile sont mesurées dans le modèle (en appliquant le coefficient d'émissions moyen de l'ADEME). En revanche, ni les émissions des « procédés de production » (comme le CO₂ émis à partir du calcaire dans la

Carbon Pricing and Green Subsidies: What Is the Optimal Combination of the Two?

Riyad Abbas, Mathieu Fouquet and Alexandre Godzinski

Online Appendix

production du ciment et de la chaux), ni celles des autres GES (comme le méthane et le protoxyde d'azote dans l'agriculture) ne sont prises en compte. Dans ce cadre, il est possible de mesurer l'empreinte carbone d'une région en prenant en compte ses émissions intérieures non exportées ainsi que les émissions liées aux importations de deux biens génériques exposés, en calculant le contenu en carbone d'un bien importé par les émissions de CO₂ liées à la production de ce même bien dans sa région d'origine.

Pour le prix du produit fossile, a été utilisé le prix moyen observé en Europe en 2019 par le *World energy outlook 2020* de l'Agence internationale de l'énergie. Quant à ceux de l'électricité par mode de production, ils sont calibrés via les coûts actualisés de production des énergies (LCOE) tels qu'estimés par RTE (2022).

6.2.2. Fiscalités régionales et marché SEQE

Les taxes régionales non énergétiques incluses dans le modèle sont au nombre de trois : la taxe sur la valeur ajoutée (TVA), la taxe sur le revenu du capital et la taxe sur le revenu du travail. La TVA est estimée à partir des données de la Banque mondiale³ sur la taxation des biens et services par pays. Les taxes sur le capital et le travail sont calibrées à partir des données collectées dans le cadre du projet de recherche « Globalization and factor income taxation » (Bachas *et al.*, 2022), qui fournit des renseignements sur la taxation des revenus du travail et du capital par pays dans le monde.

Pour les taxes énergétiques, la valeur des accises sur les fossiles et l'électricité est obtenue à partir des chiffres de l'OCDE sur la taxation de l'énergie dans 71 pays (dont 23 de l'UE, parmi lesquels les plus importants au niveau des émissions et du PIB, l'ensemble des pays membres de l'organisation, ainsi que des pays hors organisation comme la Chine, l'Inde, le Brésil et la Russie). Les pays absents des données OCDE sont considérés, par simplification, comme ne taxant pas leurs consommations d'énergie.

Bibliographie

- Babiker, M. H., Reilly, J. M., Mayer, M., Eckaus, R. S., Sue Wing, I. & Hyman, R. C. (2001).** The MIT emissions prediction and policy analysis (EPPA) model: revisions, sensitivities, and comparisons of results. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, *Report N° 71*. https://web.mit.edu/globalchange/www/MITJPSPGC_Rpt71.pdf
- Bachas, P., Fisher-Post, M. H., Jensen, A. & Zucman, G. (2022).** Globalization and Factor income taxation. World Inequality Lab, *Working Paper N° 2022/05*. <https://doi.org/10.3386/w29819>
- Boeters, S. & Savard, L. (2013).** Labor market modeling in a CGE context. In : Dixon, P. B. & Jorgenson, D. (Ed.), *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*, Ch. 26. North Holland, Elsevier, Oxford.
- Château, J., Dellink, R. & Lanzani, E. (2014).** An overview of the OECD ENV-linkages model: version 3. OECD, *Environment Working Papers N° 65*. <https://doi.org/10.1787/19970900>
- Henriet, F., Maggiar, N. & Schubert, K. (2014).** A stylized applied energy-economy model for France. *The Energy Journal*, 35(4), 1–38. <https://doi.org/10.5547/01956574.35.4.1>
- Hertel, T., Hummels, D., Ivanic, M. & Keeney, R. (2007).** How Confident Can We Be in CGE-based Analysis of Free Trade Agreements? *Economic Modelling*, 24, 611–635. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2006.12.002>

³ <https://data.worldbank.org/indicator/GC.TAX.GSRV.CN>

Carbon Pricing and Green Subsidies: What Is the Optimal Combination of the Two?

Riyad Abbas, Mathieu Fouquet and Alexandre Godzinski

Online Appendix

Mahfouz, S. & Pisani-Ferry, J. (2022). L'action climatique : un enjeu macroéconomique. France Stratégie, *La note d'analyse* N° 114. <https://www.strategie.gouv.fr/publications/laction-climatique-un-enjeu-macroeconomique>

Papageorgiou, C., Saam, M. & Schulte, P. (2017). Substitution between Clean and Dirty Energy Inputs: A Macroeconomic Perspective. *The Review of Economics and Statistics*, 99(2), 281–290. https://doi.org/10.1162/REST_a_00592

RTE (2022). Futurs énergétiques 2050. *Rapport complet*. <https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques>