

REPUBLIQUE DU SENEGAL



Un peuple - Un but - Une foi

MINISTERE DE L'ECONOMIE, DU PLAN ET DE LA COOPERATION

DIRECTION GENERALE DE LA PLANIFICATION ET DES POLITIQUES  
ECONOMIQUES

DIRECTION DE LA PLANIFICATION



Planning Paper n°24

## **Impacts économiques de la mise en place de la taxe carbone au Sénégal**

Souleymane CISSE

Augustin Ndiangue NDIAYE

@DP/DPG – Novembre 2018

[www.plandev.sn](http://www.plandev.sn)

# Impacts économiques de la mise en place de la taxe carbone au Sénégal

---

Souleymane CISSE\* et Augustin Ndiangue NDIAYE†

## Résumé

Cette étude fait la lumière sur les impacts de la mise en place d'une taxe carbone au Sénégal. A cet effet, une analyse en équilibre général est effectuée à partir du modèle PEP-1-t dynamique récursif. Les politiques sont simulées sur l'horizon temporel 2019-2030. A la lumière des résultats, il ressort qu'une taxe domestique de 30\$/tCO<sub>2</sub> entrainerait en moyenne une baisse du niveau des émissions des GES de 4,90% et permettrait l'atteinte des objectifs inconditionnels de la CPDN (excepté celui à l'horizon 2020). Elle permettrait également une légère croissance de l'économie (au plus 0,6% sur tout l'horizon de l'étude). Celle-ci serait impulsée principalement par le dynamisme des investissements, des exportations et de la production de certains secteurs (matériels & construction, autres industries). Toutefois, une tendance inflationniste en lien avec la flambée du prix de l'énergie entrainerait une dégradation du bien-être des ménages ainsi qu'une baisse du revenu des entreprises. Par ailleurs, les politiques de recyclage consistant à une réallocation de la moitié des recettes de la taxe aux investissements dans les infrastructures de transports et/ou l'énergie, auraient comme effet global d'atténuer les impacts négatifs de la taxe moyennant une légère baisse de performance en termes d'atténuation. Cependant, l'investissement dans le secteur de l'énergie (électricité) serait la meilleure option de recyclage pour l'État avec une baisse du niveau des prix (0,82% en moyenne) et une plus forte croissance du PIB réel (+2,47% en 2030), induite par une offre grandissante des branches d'activité (du fait des externalités positives liées aux infrastructures). Par ailleurs, un gain en bien-être plus élevé comparativement à la situation de référence sera noté ; représentant ainsi le dividende redistributif.

**Mots-clés:** taxe carbone, équilibre général, gaz à effet de serre, impacts. ;

*Les opinions exprimées dans ce document de travail sont celles des auteurs et ne représentent pas nécessairement celles de la Direction de la Planification. Les documents de travail décrivent les recherches et analyses en cours par les auteurs et sont publiés pour susciter des commentaires et le débat.*

---

\* Direction de la Planification, 64 Rue Saint-Michel x Carnot, BP : 4010 Dakar, Tel : (221) 33 889 72 78., [souleymane.cisse@economie.gouv.sn](mailto:souleymane.cisse@economie.gouv.sn)

† Direction de la Planification, 64 Rue Saint-Michel x Carnot, BP : 4010 Dakar, Tel : (221) 78 162 64 31., [ndiayeaugustin18@gmail.com](mailto:ndiayeaugustin18@gmail.com).

## **Abstract**

This study sheds light on the impacts of the implementation of a carbon tax in Senegal. For this purpose, a general equilibrium analysis is carried out using the recursive dynamic PEP-1-t model. Policies are simulated over the time horizon 2019-2030. In the light of the results, it appears that a domestic tax of \$30/tCO<sub>2</sub> would result in an average decrease in GHG emissions of 4.90% and would allow the achievement of the unconditional INDC objectives (except for the 2020 horizon). It would also allow a slight growth of the economy (at most 0.6% over the entire study horizon). This would be driven mainly by the dynamism of investment, exports and production in certain sectors (materials & construction, other industries). However, an inflationary trend linked to soaring energy prices would lead to a deterioration in household welfare and a drop in corporate income. Furthermore, recycling policies consisting of reallocating half of the tax revenues to investments in transport infrastructure and/or energy would have the overall effect of mitigating the negative impacts of the tax with a slight decline in mitigation performance. However, investment in the energy sector (electricity) would be the best recycling option for the government with a lower price level (0.82% on average) and higher real GDP growth (+2.47% in 2030), induced by an increasing supply of industries (due to positive infrastructure externalities). In addition, a higher welfare gain compared to the baseline situation will be noted, representing the redistributive dividend.

**Keywords:** carbon tax, general equilibrium, GHG emissions, impacts. ;

## Sommaire

Résumé .....	i
Abstract .....	ii
Sigles, abréviations et acronymes .....	iv
Introduction .....	1
1. Généralités et revue de la littérature .....	3
1.1. Généralités sur les changements climatiques et la taxation carbone .....	3
1.2. Revue de la littérature .....	8
2. Méthodologie de l'étude .....	13
2.1. Choix et présentation du modèle .....	13
2.2. Gestion de la matrice de comptabilité sociale .....	15
2.3. Spécification du modèle .....	16
3. Présentation et analyse des résultats .....	29
3.1. Profil des émissions .....	29
3.2. Les canaux de transmission de la taxe carbone .....	34
3.3. Simulation et interprétation des résultats.....	35
Conclusion et recommandations .....	45
Bibliographie.....	I
Annexes .....	VI
A. Complément d'information et autres résultats.....	VI
B. Équations, paramètres et variables du modèle.....	XIII

## Sigles, abréviations et acronymes

<b>ADEME</b>	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
<b>AIE</b>	Agence Internationale de l'Énergie
<b>ANSD</b>	Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie
<b>BTU</b>	British Thermal Unit
<b>CCNUCC</b>	Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
<b>CPDN</b>	Contribution Prévues Déterminées au niveau National
<b>CSE</b>	Centre de Suivi Ecologique
<b>DP</b>	Direction de la Planification
<b>DPEE</b>	Direction de la Prévision et des Études Économiques
<b>DSGE</b>	Dynamic Stochastic General Equilibrium
<b>EGC</b>	Équilibre Général Calculable
<b>FEM</b>	Fonds pour l'Environnement Mondial
<b>GES</b>	Gaz à Effet de Serre
<b>GIEC</b>	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat
<b>IEA</b>	International Energy Agency
<b>INDC</b>	Intended Nationally Determined Contributions
<b>IPC</b>	Indice des Prix à la Consommation
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>MCS</b>	Matrice de Comptabilité Sociale
<b>MEDD</b>	Ministère de l'Environnement et du Développement Durable
<b>MEGC</b>	Modèle d'Équilibre Général Calculable
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration
<b>PAGE</b>	Partnership for Action on Green Economy
<b>PANA</b>	Plan d'Action National pour l'Adaptation
<b>PEP</b>	Partnership of Economic Policy
<b>PIB</b>	Produit Intérieur Brut
<b>PMR</b>	Partnership for Market Readiness
<b>PNUD</b>	Programme des Nations Unies pour le Développement
<b>PNUE</b>	Programme des Nations Unies pour l'environnement
<b>PSE</b>	Plan Sénégal Émergent
<b>RDM</b>	Reste Du Monde
<b>VA</b>	Valeur Ajoutée

## Introduction

La problématique des changements climatiques a depuis longtemps alimenté les débats à l'échelle internationale. En effet, le climat mondial connaît des modifications importantes résultant à la fois de facteurs naturels et anthropiques (Sultan et al., 2008). Le volet anthropique est imputé aux émissions de gaz à effet de serre (GES) par le biais de la combustion des énergies fossiles pour la satisfaction des besoins humains de plus en plus importants (GIEC, 2013). Dans ces conditions, les émissions de GES continuent à augmenter et ont doublé par rapport à la période pré-industrielle (Climate analytics, 2018b). Le réchauffement mondial qui résulte de cette situation, provoque des modifications durables du système climatique, faisant ainsi peser une menace aux conséquences irréversibles (PNUD, 2018). Sous ce rapport, les années 2016 et 2017 ont enregistré les plus fortes températures depuis 1880 selon la National Aeronautics and Space Administration (NASA)<sup>3</sup>. Les impacts de ce dérèglement climatique varient d'une région du globe à une autre avec des conséquences socio-économiques particulièrement importantes dans les pays en développement (Sultan, 2015).

L'Afrique est très vulnérable au changement climatique (IPCC, 2007). Les activités socio-économiques basées sur une agriculture essentiellement pluviale, faiblement mécanisée et un élevage à caractère extensif, contribuent fortement à cette vulnérabilité, en raison de leur dépendance aux aléas du climat. A cela s'ajoute le fait que la côte africaine est l'une des plus exposée aux risques d'inondation en lien avec l'élévation moyen du niveau de la mer (Nicholls et Toll, 2006).

A l'instar de plusieurs pays africains, l'économie du Sénégal est fortement dépendante de l'agriculture, de l'élevage et des ressources naturelles ; de fait, elle n'est nullement épargnée par les changements climatiques (Gaye et al., 2015). Sous ce rapport, le repli de 0,2%<sup>4</sup> entre 2012 et 2013 de la contribution du secteur agricole au PIB est imputable à ce phénomène (CSE, 2015; MEDD, 2016).

De la signature de la Convention Cadre des Nations Unies sur les changements Climatiques (CCNUCC) le 13 juin 1992 à la réalisation de son Plan d'Action National pour l'Adaptation aux changements climatiques (PANA) en 1997, en passant par la soumission au secrétariat de la CCNUCC de sa première communication nationale intitulée Communication initiale du Sénégal, le pays s'est très vite mobilisé autour du problème lié au climat sur la scène internationale.

En 2014, le Sénégal a adopté le Plan Sénégal émergent (PSE) qui constitue le référentiel de sa politique économique et sociale. D'ailleurs l'axe 2 « Capital humain, protection sociale et développement durable » du PSE, dans sa seconde phase, intègre parfaitement les questions de l'environnement et du changement climatique à travers l'objectif stratégique 10 (OS 10) qui vise à

---

<sup>3</sup> <https://svs.gsfc.nasa.gov/12822>

<sup>4</sup> Le secteur agricole sénégalais emploie 1 220 000 actifs, soit 28% de la population active sénégalaise et repose à 90% sur des exploitations familiales (ANSD, 2014). Ces exploitations se retrouvent majoritairement dans les zones rurales où les modifications climatiques et les impacts biophysiques associés sont plus marqués se traduisant par de faibles précipitations, des sols fragiles ou dégradés et un accès limité au marché (IPCC, 2007).

« réduire la dégradation de l'environnement, des ressources naturelles et des effets néfastes du changement climatique ».

En novembre 2016, l'accord de Paris est entré en vigueur, devenant le premier accord international à engager tous les pays signataires dans une action collective visant à atténuer le changement climatique. L'accord exige que toutes les parties fassent des « efforts ambitieux » pour atténuer les émissions de gaz à effet de serre (GES), marquant ainsi un pas énorme par rapport à son prédécesseur, le Protocole de Kyoto, limitant l'atténuation à plusieurs dizaines de pays développés.

Le Gouvernement du Sénégal avait soumis sa Contribution Prévues Déterminées au niveau National (CPDN) en septembre 2015 (Climate analytics, 2018b). Ce document constituait une intention du pays à prendre part à l'effort global d'atténuation des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) et d'adaptation aux effets néfastes des changements climatiques, dans le cadre de l'Accord de Paris. Sous l'option inconditionnelle, les réductions d'émissions par rapport à leur trajectoire prévue sont de 3%, 4% et 5% respectivement en 2020, 2025 et 2030 (MEDD, 2015). Avec l'option conditionnelle, les réductions d'émissions attendues sont de l'ordre de 7%, 15% et 21% sur les mêmes années (MEDD, 2015). Un tel engagement, dans un contexte marqué par la menace grandissante des changements climatiques donne donc au Sénégal un incitatif à long terme pour soutenir l'atténuation mondiale.

À la suite de Paris, l'accent a été mis sur l'élaboration de cadres d'action susceptibles de fournir des réductions d'émissions fiables à long terme et à grande échelle. Pour atteindre cet objectif, un nombre croissant de gouvernements s'est tourné vers la tarification du carbone.

La tarification carbone par les taxes sur les émissions, les systèmes d'échange de quotas d'émission ou les systèmes fondés sur des niveaux de référence et des crédits carbone - est au centre même des politiques d'atténuation, car elle constitue un moyen économiquement efficace pour réduire les émissions de GES (Michaelowa et al, 2018). Au niveau mondial, il existe une expérience croissante avec ces instruments, et cela dans des pays aux caractéristiques très différentes. Certains pays comme la Finlande, la Suède, la Norvège et le Danemark ont tarifé le carbone pour plus de 25 ans. Quelques économies émergentes, notamment la Chine, la Colombie et le Mexique, ont récemment introduit la tarification carbone.

En 2015, 4% des émissions mondiales de GES étaient couvertes par des taxes carbonées (Banque mondiale et Ecofys 2015). Actuellement, 47 juridictions ont mis en place une forme de tarification carbone couvrant 15% des émissions mondiales de GES (Banque Mondiale et Ecofys, 2018). De plus, les revenus du carbone représentent un levier de financement de plus en plus important pour l'environnement et l'économie. Métivier et al. (2018) estiment que les instruments de tarification du carbone ont généré 32 milliards de dollars de revenus en 2017, contre 22 milliards de dollars en 2016. En 2017, 65 % des revenus tirés de la tarification du carbone proviennent des taxes sur le carbone.

La taxation carbone, peut constituer un levier sur lequel le Sénégal peut agir pour atteindre ses objectifs en matière de réduction de ses émissions de GES et développer une stratégie de croissance bas carbone en phase avec le PSE; d'autant plus que les Parties de l'Accord de Paris

sont invitées à soumettre avant 2020 un plan de développement bas carbone (Michaelowa et al, 2018). D'autre part, le Sénégal s'est engagé, à travers la communication ministérielle du V20<sup>5</sup> du 23 avril 2017 à mettre en place une tarification carbone d'ici à 2025<sup>6</sup>. Partant de ces idées, l'éventualité de mettre en place la taxe carbone n'est pas à écarter. Par conséquent, il serait intéressant de pousser la réflexion sur la façon dont l'économie Sénégalaise réagirait à la mise en place d'une pareille politique.

Ce travail se propose de faire une analyse des impacts de la mise en place de la taxe carbone au Sénégal en tant que mesure pigouvienne<sup>7</sup> visant à réduire les émissions de carbone.

De manière plus spécifique, il s'agit de:

- analyser les effets de la politique de taxation carbone sur les émissions de GES du Sénégal;
- analyser les effets sur l'économie;
- analyser les politiques de recyclage des recettes et explorer les possibilités d'obtention d'un double dividende.

Afin d'atteindre les différents objectifs cités plus haut, le document est structuré en trois (03) parties. La première définit le cadre conceptuel autour de la taxation carbone et fait une revue théorique et empirique des travaux afférents au thème. La deuxième partie présente le cadre méthodologique de l'étude en décrivant les outils qui permettront de traiter la problématique. Enfin la troisième partie est consacré à la présentation des résultats en passant par quelques faits stylisés en cohérence avec les émissions de GES au Sénégal.

## **1. Généralités et revue de la littérature**

Cette partie présente d'abord les généralités relatives aux changements climatiques et à la taxation carbone, puis met en avant quelques éléments de revues théoriques et empiriques.

### **1.1. Généralités sur les changements climatiques et la taxation carbone**

Cette section donne un aperçu sur les changements climatiques au sens économique du terme et présente quelques principes de base liés à la taxation carbone.

#### **1.1.1. Clarification conceptuelle**

Cette section propose quelques définitions essentielles à la bonne compréhension du document.

##### **L'atténuation et l'adaptation**

L'adaptation et l'atténuation ont toutes deux pour objectif de lutter contre le changement climatique, mais avec des moyens différents : la première s'attaque à ses conséquences, en réduisant la vulnérabilité sociale et écologique ; la seconde traite ses causes, en limitant les

---

<sup>5</sup> Les pays du V20 sont à la fois les économies les plus vulnérables et les plus prometteuses du monde en termes de potentiel de croissance.

<sup>6</sup> <https://www.v-20.org/v20-ministerial-communique-ministerial-dialogue-iv/>

<sup>7</sup> Mesure visant à internaliser les externalités (coûts environnementaux) dans le coût de production.

émissions de gaz à effet de serre (ADEME, 2018). Une activité contribue à l'atténuation du changement climatique si elle participe à la stabilisation des concentrations de Gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique (ADEME, 2018). Une action favorise l'adaptation au changement climatique dès lors qu'elle permet de limiter les impacts négatifs du changement climatique et d'en maximiser les effets bénéfiques (ADEME, 2018).

### **Combustible fossile**

Combustible<sup>8</sup> formé à partir de matières organiques enfouies dans la croûte terrestre au fil des ères géologiques et produits fabriqués à partir d'eux. Le combustible extrait de la terre et préparé pour être commercialisé est appelé 'combustible primaire' (p. ex. le charbon, le lignite, le gaz naturel et le pétrole brut), tandis que le produit fabriqué à base de combustibles primaires est appelé 'combustible secondaire' (p. ex. le coke, le gaz de haut-fourneau, le gazole, l'essence et le GPL, le diesel, l'essence...) (GCE, 2012).

### **Effet de serre**

Phénomène d'échauffement de la surface de la terre et des couches basses de l'atmosphères, dû au fait que certains gaz de l'atmosphère absorbent et renvoient une partie du rayonnement infrarouges émis par la terre, ce dernier compensant le rayonnement solaire qu'elle absorbe elle-même<sup>9</sup>. Les gaz qui provoquent ce phénomène, sont appelés "gaz à effet de serre". Plus d'une quarantaine de gaz à effet de serre ont été recensés par le GIEC parmi lesquels figurent : la Vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O), le Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le Méthane (CH<sub>4</sub>), l'Ozone (O<sub>3</sub>), le Protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), l'Hydrofluorocarbures (HFC), le Perfluorocarbures (PFC) et l'Hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>)<sup>10</sup>.

### **Le double dividende**

On parlera de double dividende dans le cas où l'instauration (ou l'augmentation) d'une taxe environnementale, à recettes budgétaires inchangées pour l'État (neutralité budgétaire) fait apparaître non seulement un bénéfice environnemental mais aussi un deuxième bénéfice, de nature économique (Chiroleu-Assouline M., 2001). Un tel bénéfice peut prendre plusieurs formes, compatibles ou non, qui correspondent aux différentes définitions utilisées :

- **un dividende emploi** lorsque le recyclage du rendement de la taxe permet la réduction du chômage;
- **un dividende d'efficacité** lorsque la réforme fiscale accroît l'efficacité du système fiscal, en réduisant les distorsions;
- **un dividende redistributif** (dit aussi parfois dividende social) lorsque le processus de redistribution choisi permet d'améliorer l'équité.

---

<sup>8</sup> Toute substance brûlée pour produire de la chaleur ou de l'électricité (AIE, 2005).

<sup>9</sup> Délégation générale à la langue française et aux langues de France (2015)

<sup>10</sup> Idem

## 1.1.2. Ce qu'il faut savoir sur la taxation carbone

Cette section met en exergue les éléments clés du processus de mise en place d'une taxe carbone.

### 1.1.2.1. La taxe carbone: idée générale

La taxe carbone fixe un prix aux émissions de GES en taxant **les biens** ou **les activités** sur la base des émissions qu'ils produisent (PMR, 2017). Elle incite les assujettis à la taxe à réduire leurs émissions afin de minimiser leurs charges fiscales.

Sur les marchés libéralisés de l'énergie, où les coûts supplémentaires sont répercutés sur les consommateurs, les taxes carbone peuvent également mener à un accroissement de la demande des consommateurs et de l'industrie pour les énergies renouvelables. Cela aide à stimuler les investissements dans l'éolien, le solaire et l'hydraulique. Dans le même temps, les taxes carbone créent une source de revenus pour les États, qui peuvent être utilisés pour accroître les dépenses de l'État ou réduire d'autres taxes.

### 1.1.2.2. La définition de l'assiette de la taxe

L'assiette de la taxe carbone se réfère aux produits, activités et personnes imposables qui seront responsables du paiement de la taxe carbone. La taxe carbone est généralement appliquée à la production, à l'importation et à la vente de combustibles, ou sur les émissions issues de processus spécifiques, comme celles de la production d'électricité, des processus industriels et de l'élimination des déchets. Cependant, il convient de noter que : **taxer la production, l'importation et la vente de combustibles fossiles est la façon la plus simple de taxer les émissions de carbone**<sup>11</sup>, puisque la plupart des juridictions peuvent tirer parti des systèmes existants et ne nécessiteront que des capacités supplémentaires de gestion de la taxe (PMR, 2017). D'un autre côté, cibler d'autres émissions telles que celles de la production d'électricité, des processus industriels et de l'élimination des déchets peut engendrer plus de travail, mais peut aussi permettre de cibler une quantité plus grande d'émissions.

### 1.1.2.3. Le(s) point(s) d'application de la taxe

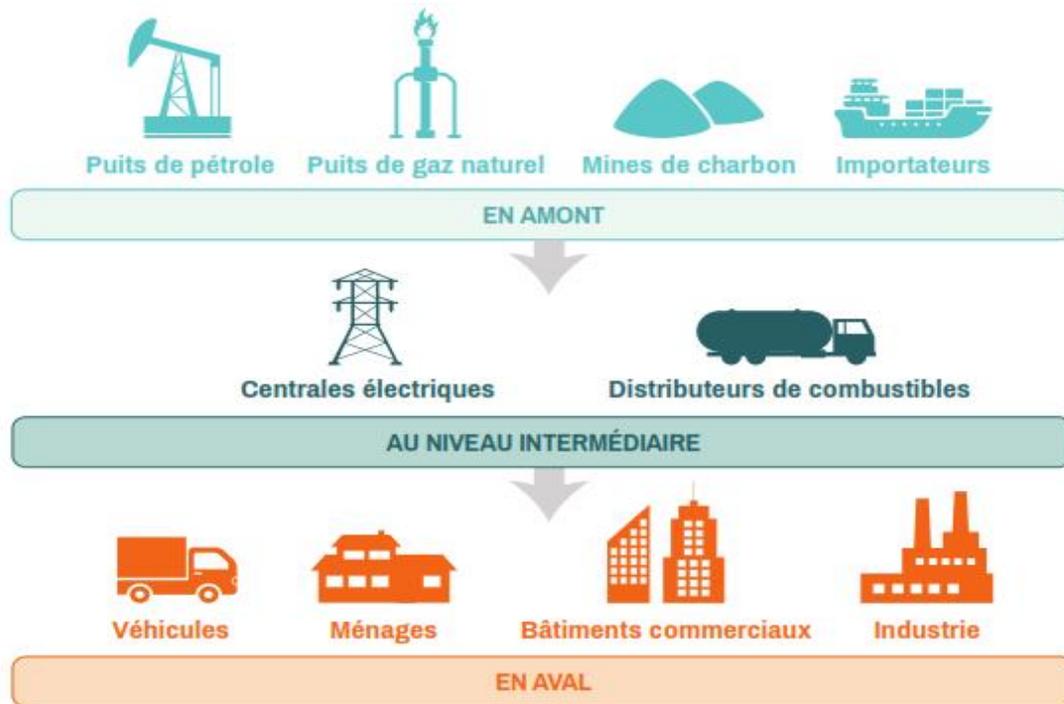
Pour une filière donnée, la taxe peut être appliquée à un grand nombre d'acteurs: depuis les importateurs et producteurs (en amont) jusqu'aux consommateurs (en aval) en passant par les distributeurs et producteurs d'électricité (niveau intermédiaire). Lorsque la taxe est appliquée aux combustibles, il est monnaie courante de placer la charge en amont ou au niveau intermédiaire, étant donné que c'est l'approche suivie dans le cadre des droits d'accise existants (PMR, 2017).

---

<sup>11</sup> La plupart des pays ayant adopté une taxe carbone à ce jour l'ont axée sur l'utilisation des combustibles fossiles (PMR, 2017). Cela présente l'avantage de permettre d'adosser la taxe carbone aux taxes douanières et droits d'accise existants.

Les émissions de carbone sont ainsi facilement calculées en appliquant un facteur d'émissions, basé sur la teneur en carbone du combustible.

Figure 1: Les différents points d'une filière susceptibles d'accueillir la taxe carbone



Source: Ramseur et Parker, 2009.

Pour qu'une taxe carbone réduise efficacement les émissions, il est indispensable que la hausse des coûts s'applique aux entités dont le comportement impacte le niveau des émissions. Si des acteurs qui n'ont pas de pouvoir de décision ou dont les décisions ne réagissent pas aux **signaux-prix**<sup>12</sup> sont ciblés, la hausse des coûts s'ajoutera à leurs charges financières, mais leurs émissions ne changeront pas (Avi-Yonah et Uhlmann, 2009). Au moment de déterminer quels sont les acteurs dont le comportement a une influence sur la réduction des émissions, il est important de tenir compte d'abord des émissions ciblées et du point de la filière où se produisent effectivement les émissions (PMR, 2017).

- **En amont** : les taxes carbone en amont sont appliquées aux combustibles au point où le produit associé aux émissions entre dans l'économie. Dans le cas des combustibles, cela peut inclure la sortie d'une mine de charbon, une tête de puits de gaz ou un port pour les combustibles importés (Avi-Yonah et Uhlmann, 2009).
- **Au niveau intermédiaire** : une taxe carbone au niveau intermédiaire fait référence à une taxe appliquée entre le point où le produit pénètre dans l'économie et le point de consommation. Cela correspond souvent au point de transformation : par exemple, l'endroit où le pétrole est raffiné (raffineries), où le combustible est transformé en électricité (centrale électrique).

<sup>12</sup> Une taxe sur le carbone envoie un signal clair aux pollueurs : "la pollution impose une externalité négative aux autres et vous devez être obligé d'internaliser ce coût en payant la taxe".

- **En aval** : Une taxe carbone en aval est appliquée au point de consommation, que ce soit par les consommateurs, les entreprises ou l'industrie. Les exemples comprennent des taxes appliquées à l'utilisation d'énergie par les entreprises et aux combustibles utilisés par une société de transport.

Cette démarche illustre la manière dont l'effet d'une taxe carbone sur le comportement des différents acteurs est fortement influencé par le point d'application de la taxe. En général, les taxes en amont ont la capacité d'être répercutées en aval et d'affecter plusieurs acteurs de la filière, alors que l'inverse est moins vrai.

#### **1.1.2.4. La détermination du niveau de la taxe**

En général, quatre approches sont utilisées pour fixer le taux initial de la taxe carbone ; chacune étant liée à des objectifs de politiques différents. Les gouvernements peuvent fixer le taux de la taxe en vue d'espérer une atténuation du niveau des émissions, de percevoir un certain niveau de recettes, de procéder à des analyses comparatives ou de refléter les coûts sociaux des émissions (PMR, 2017).

**L'approche de l'objectif d'atténuation**: cette approche implique de choisir un taux de taxe carbone qui devrait aboutir à des niveaux de réduction cohérents avec les objectifs de réduction des émissions du pays. Elle constitue donc un bon choix pour les pays qui cherchent à atteindre des objectifs de réduction spécifiques, comme ceux fixés au niveau des CPDN.

**L'approche de l'objectif de recettes**: cette approche est conçue pour générer un montant donné de recettes via l'application de la taxe carbone. Elle est particulièrement utile pour les pays qui sont motivés par le besoin de fonds publics supplémentaires.

**L'approche de l'analyse comparative**: cette approche lie le taux de la taxe aux prix du carbone d'autres pays, en particulier des pays voisins, des partenaires commerciaux et des concurrents. L'analyse comparative implique simplement d'examiner ce que d'autres pays à la situation similaire ont fait en termes de conception globale de la taxe adoptée, et notamment du taux de taxe choisi.

**L'approche du coût social du carbone (CSC)**: cette approche fait correspondre le taux de la taxe carbone aux estimations des coûts sociaux associés aux émissions de GES. L'idée ici est de fixer le taux de la taxe carbone au niveau où le coût marginal de réduction est exactement égal au bénéfice marginal de réduction. C'est l'une des approches les plus efficaces sur le plan économique.

#### **1.1.2.5. Les techniques de recyclage des revenus**

Les gouvernements peuvent en général recourir à deux stratégies pour décider de la façon d'utiliser les recettes de la taxe carbone : (i) la neutralité des recettes, (ii) l'augmentation des dépenses (PMR, 2017). La neutralité des recettes peut être obtenue en utilisant les recettes de la taxe pour réduire d'autres taxes telles que les impôts sur les sociétés ou les taxes sur le travail. Cette démarche est souvent considérée comme la plus efficace économiquement bien que dans

certaines situations, l'augmentation des dépenses ou l'abaissement de la dette publique peuvent présenter des avantages économiques importants<sup>13</sup>.

## **1.2. Revue de la littérature**

Il s'agira dans cette section d'exposer les fondements théoriques et de présenter les travaux empiriques portant sur la thématique étudiée.

### **1.2.1. Revue de la littérature théorique**

Plusieurs auteurs s'accordent sur le fait que la principale cause du réchauffement de la planète est l'émission excessive de gaz à effet de serre (GES) résultant de l'utilisation de sources d'énergie fossiles dans les activités humaines (Lin et Jia ,2018). Certains voient en la taxe carbone, un instrument de politique pour réduire les émissions mondiales.

En tant que taxe pigouvienne<sup>14</sup>, la taxe sur le carbone est perçue sur la teneur en carbone des carburants. Le principe de base de cette taxe est de réduire les émissions en augmentant le prix des intrants et des services contribuant à ces émissions (Christiansen, 2001). Elle facture les émissions de CO<sub>2</sub> à un prix égal au dommage marginal causé par l'externalité négative, afin que les décideurs tiennent compte du coût externe, conduisant ainsi à un niveau de production optimal. En théorie, les taxes rentables devraient couvrir toutes les sources de tous les secteurs. De plus, le prix du carbone devrait être égal au coût social des émissions. Néanmoins, il n'y a pas eu de consensus sur l'ampleur du coût social externe. Il y a eu de longues discussions sur le taux optimal de la taxe sur le carbone. Stern (2006), par exemple, a suggéré un coût externe supérieur à 300 USD par tonne, tandis que Nordhaus (2007) a estimé une taxe sur le carbone à 30 USD par tonne de carbone, soit moins du dixième du prix suggéré par Stern.

#### **1.2.1.1. Controverses sur l'instauration de la taxe carbone**

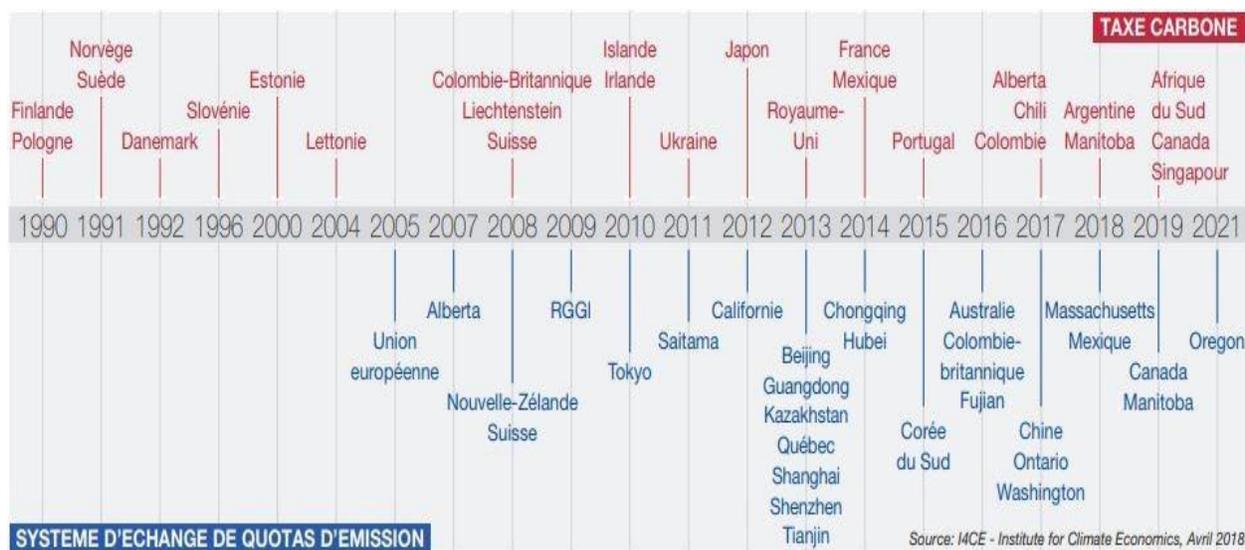
L'idée de la taxation carbone n'est pas neuve; déjà au tout début des années 90, la Communauté Européenne a tenté de mettre en place un système de taxe sur l'énergie et/ou le carbone pour lutter contre les émissions de gaz à effet de serre. Par la suite, beaucoup d'autres États se sont engagés dans cette voie comme le montre la figure ci-dessous.

---

<sup>13</sup> Lorsque les gouvernements décident d'utiliser les recettes pour augmenter les dépenses, ils peuvent les diriger vers le budget général ou les affecter à des fins spécifiques comme le soutien à des programmes environnementaux ou l'accroissement des aides sociales.

<sup>14</sup> Une taxe pigouvienne (ou pigovienne) est une taxe destinée à internaliser le coût social des activités économiques, notamment en ce qui concerne la pollution. Elle vise à intégrer au marché les externalités négatives. Le principe pollueur-payeur en découle.

Figure 2: Cartographie des pays qui ont appliqué/comptent appliquer un prix sur le carbone



Source: MCE- Institute for Climate Change Economics

Pour ce qui est du potentiel de réduction des GES de la taxe, la majorité des auteurs s'accorde sur cette question. Cependant de vives discussions se tiennent autour de la problématique des impacts non environnementaux de la taxe. Ces impacts sont souvent fonction du niveau d'émission du pays qui, à son tour, dépend de divers facteurs. La nature de ces facteurs est dépeinte dans les travaux de (Lin et Jia ,2018) qui affirment que les émissions sont étroitement liées à la structure industrielle, énergétique et de consommation ainsi que du niveau de développement économique des pays (Chen et al., 2018; Wang et al., 2018). Par conséquent, les effets de la taxation peuvent différer d'un pays à un autre et de ce fait certains pays peuvent ne pas prendre le risque de l'adopter compte tenu des coûts qu'ils auront à supporter.

La littérature renseigne sur des initiatives de taxation qui n'ont pas donné les résultats attendus, c'est notamment le cas de la taxe sur l'énergie aux États-Unis en 1993. Celle-ci devait être de 0.599\$ de 1993 par million de BTU (MBTU) sur les carburants raffinés (soit 32.9 euros par tonne équivalent pétrole en tenant compte de l'inflation) et de 0.257\$/MBTU sur les autres énergies sauf l'éolien, le solaire et la géothermie qui devaient être exonérés. Malgré ces montants modestes, le projet fait l'objet d'attaques particulièrement violentes de la part des lobbys industriels et des républicains. Finalement, la BTU-Tax sort essorée de son passage au Sénat : elle est devenue une simple taxe sur les carburants avec de nombreuses exemptions et un niveau près de 30 fois inférieur à celui initialement prévu.

La précédente initiative n'a pas été la seule à échouer. En effet, la taxe sur les combustibles fossiles en Suisse en 2000, la tarification routière à Edimbourg en 2005 et la taxe carbone française en 2010 en ont fait l'expérience (Kallbekken et Saelen, 2011). Les arguments avancés par les opposants à cette taxe sont que les taxes sur le carbone ont tendance à affecter négativement la croissance du PIB (Cabalu et al., 2015 ; Sajeewani et al., 2015) et la compétitivité internationale des industries (Liang et al, 2016), tout en entraînant des effets distributifs régressifs (Baranzini et

al.,2000 ; Zhang et al., 2004). En raison des différences de revenus, de conditions de vie, de préférences et de schémas de consommation, différents groupes socio-économiques réagiraient de manière différenciée aux mêmes stimuli (Liang et al. ,2013 ; Wadud, et al. 2009).

En revanche, les avis des précédents auteurs ne semblent pas faire l'unanimité. En effet, d'autres ont estimé que la taxe sur le carbone permettrait de protéger l'économie (Franks et al., 2017). En fait, la plupart des premières estimations des coûts des politiques environnementales (en termes de pertes de PIB et d'augmentation du chômage) étaient très élevées simplement parce qu'elles avaient été réalisées en faisant abstraction des utilisations possibles des recettes fiscales ainsi obtenues.

Déjà en 1991, Pearce défendait la thèse selon laquelle l'utilisation des recettes de la fiscalité environnementale pour réduire d'autres impôts ou taxes distordants, pourrait faire plus que compenser les coûts de la politique environnementale et ainsi conduire à un double dividende d'abord en décourageant les activités polluantes, ensuite en réduisant les pertes sèches dues à l'existence de distorsions<sup>15</sup> du système fiscal.

Van Heerden et al. (2006), focalisant leurs analyses sur les options de recyclage des revenus, estiment qu'un « triple dividende » impliquant une diminution des émissions de CO2 et de la pauvreté tout en augmentant le PIB, est possible si les recettes provenant des taxes environnementales sont utilisées de manière à réduire les prix des denrées alimentaires.

Enfin, dans la même dynamique que les auteurs précédents mais avec un peu de nuance, Chen et Nie (2016) ont estimé qu'une certaine quantité de taxe sur le carbone dans le processus de production augmenterait le bien-être social, alors qu'elle le ferait baisser si elle était imposée dans les processus de consommation et de redistribution.

#### **1.2.1.2. Autour de la question du double dividende**

Dans une revue théorique relative aux "interactions fiscales et la politique climatique", Goulder (2013) a souligné que la distribution des recettes de la taxe sur le carbone avait deux effets majeurs sur l'interaction budgétaire : l'effet de recyclage et l'effet d'interaction.

L'effet de recyclage des recettes est associé au retour à l'économie privée de tout revenu généré par un instrument de politique environnementale. Il permet d'obtenir une amélioration du rendement grâce à la réduction des taxes de distorsion existantes (impôt sur les sociétés, impôts sur le revenu...).

L'effet d'interaction fiscale traite des impacts de la taxe sur les rendements des facteurs de production. Il entraîne une perte d'efficacité supplémentaire, car la taxe sur le carbone (ou la taxe environnementale) abaisse les prix réels des facteurs, par exemple, salaire réel et rendement du capital réel (Goulder, 2013). Il a été avancé que, si l'État utilise ces recettes (de la taxe carbone) pour diminuer d'autres impôts distordants, une taxe environnementale peut à la fois améliorer la qualité de l'environnement et permettre de réduire les distorsions fiscales existantes : c'est le

---

<sup>15</sup> La définition du concept de distorsion fiscale repose sur la comparaison entre le rendement de la taxe et la perte d'utilité provoquée par cette taxe pour le consommateur. (Chiroleu-Assouline, 2001).

double dividende défini par Goulder (1995a). Goulder (2013) souligne que, pour obtenir un « double dividende », l'effet de recyclage des recettes devrait dépasser le coût primaire et l'effet d'interaction fiscale. D'autres auteurs sont parvenus aux mêmes conclusions ; c'est le cas de Parry (1997), Sumner et al. (2011) et Pezzey et Jotzo (2012).

En somme, il convient de voir que le domaine d'application de la taxe est un facteur essentiel compte tenu du fait que l'ampleur de l'impact non environnemental en dépend fortement. Aussi, cette taxe peut-elle être difficilement envisagée sans mesures adéquates de recyclage de ses recettes, qui la rendent plus acceptable aux yeux de la collectivité (Chiroleu-Assouline et al., 2011). Le but du recyclage peut ainsi être double : réduire voire annuler le coût de la politique, mesuré par la perte de bien être global, ou compenser les inégalités engendrées par la mesure.

### **1.2.2. Revue de la littérature empirique**

Cette section est consacrée à la présentation des analyses empiriques portant sur la taxation carbone. Plusieurs travaux ont proposé des modèles pour étudier les implications de la taxe environnementale (ou taxe carbone) sur l'économie ainsi que les politiques de recyclage du revenu de la taxe.

Au niveau international, en particulier au sein des pays de l'orient et de l'occident, de nombreux travaux ont été entrepris dans ce sens et l'abondance de la littérature à l'égard de leurs travaux en témoigne. En Afrique ces types d'études sont peu nombreuses et jusqu'alors la majeure partie des travaux faits en ce sens sont imputables à l'Afrique du Sud et éventuellement à quelques États du Maghreb. Pour le cas du Sénégal, les travaux se rapportant au thème précédent se résument à une étude d'opportunité sur la mise en place d'un instrument de tarification carbone.

En s'appuyant sur un modèle économique de type entrées-sorties, Choi et al. (2010), dans leur étude des interactions à court terme entre le prix du carbone et ses effets économiques et environnementaux aux USA, ont montré qu'avec une taxe de 136\$/tCO<sub>2</sub>, ils peuvent en une seule année atteindre les objectifs de réduction du niveau des émissions de 20%.

D'un autre côté, Mardones et Flores (2017) ont proposé une extension environnementale du modèle de Leontief pour analyser divers taux d'imposition sur le CO<sub>2</sub> et les autres émissions de GES générées par les secteurs les plus polluants de l'économie Chilienne. Selon les résultats de l'étude, une taxe de 30\$ US/tCO<sub>2</sub> appliquée à tous les secteurs de l'économie pourrait réduire les émissions de 25,7%, avec un impact négatif moindre sur l'économie.

Timilsina (2007), en utilisant un MEGC statique multisectoriel de la Thaïlande, a constaté que l'utilisation de la taxe sur le carbone pour réduire les émissions entraînerait moins de perte de bien-être que les autres taxes environnementales et non environnementales. En particulier, la perte de bien-être est la plus faible lorsque les recettes de la taxe sur le carbone sont utilisées pour réduire les taux de taxe indirecte existants sur les biens non énergétiques.

A travers un modèle EGC global inter-temporel (G-cubed), McKibbin et al. (2012) étudient l'impact d'une taxe sur le carbone et différentes utilisations des recettes fiscales sur les coûts d'atténuation et la situation budgétaire des États-Unis. Ils ont constaté que l'utilisation d'une taxe

sur le carbone pour réduire les impôts sur le capital augmenterait le niveau de l'emploi à court terme tout en réduisant considérablement les émissions de carbone.

En se servant d'un MEGC, Moutaouakkil (2018) a tenté d'évaluer les implications de l'utilisation des revenus générés par la taxe carbone afin de financer l'investissement public. Les résultats ont suggéré que cette option de recyclage permet de stimuler l'économie et mitiger les effets de la tarification du carbone sur la production et le bien être des ménages.

Alton et al. (2014) à travers un MEGC dynamique (nommé SAGE) basé sur la MCS de l'Afrique du Sud de 2005 ont tenté d'évaluer la façon la plus appropriée d'appliquer une taxe carbone pour l'Afrique du Sud. Pour ce faire, ils ont élaboré trois scénarios:

- la taxe carbone domestique: (a) elle est appliquée à tous les combustibles fossiles brûlés en Afrique du Sud, (b) le taux de la taxe quitte de 3\$/tCO<sub>2</sub> en 2012 et augmente progressivement pour s'établir à 30\$/tCO<sub>2</sub> en 2025, (c) toutes les recettes de la taxe sur le carbone sont recyclées via une réduction uniforme, en points de pourcentage, des taux de la taxe de vente pour tous les produits.;
- ajustement de la taxe intérieure sur le carbone incorporé (BTA): le scénario (1) et un rabais pour les exportateurs et un élargissement de l'assiette de la taxe aux importations ;
- recyclage des revenus: le scénario (1) avec modifications (réduction de l'impôt sur les sociétés ou augmentation des transferts sociaux à la place de la réduction des taxes sur les ventes).

Leurs conclusions ont été les suivantes: (a) la taxe de 30\$/tCO<sub>2</sub> permet d'atteindre les objectifs d'atténuation que s'est fixé le pays à l'horizon 2025; (b) la taxe carbone a réduit le bien-être national et l'emploi, cependant les effets sont moindres sur le PIB(moins que 0,1%) ; (c) les ajustements du carbone aux frontières réduisent le bien-être et les pertes d'emploi tout en maintenant les mêmes réductions d'émissions.

Ibarrarán et al. (2015) à travers un MEGC dynamique ont tenté de mesurer les implications de la taxe carbone sur l'économie mexicaine. Pour ce faire, ils ont utilisé deux taux de taxe carbone (faible : 3,5\$/tCO<sub>2</sub>, et élevé : 25\$/tCO<sub>2</sub>) sur les émissions dues à la consommation de combustibles fossiles à travers un scénario de taxation avec positivité des recettes et deux scénarios de recyclage du revenu. L'un consistant à (1) investir les recettes de la taxe dans les énergies propres et l'autre, à (2) transférer les recettes de la taxe aux consommateurs. Les résultats ont montré qu'une taxe sur les émissions des combustibles fossiles entraînerait de légères pertes en termes de bien-être des consommateurs, de PIB et du stock de capital. Toutefois, si le Mexique prenait des mesures importantes pour limiter simultanément l'utilisation des combustibles fossiles et investir dans des sources d'énergie renouvelables, les indicateurs globaux (par exemple, le PIB, les investissements, etc.) pourraient être plus élevés que la situation où les recettes de la taxe sont transférées aux consommateurs.

A l'aide d'un modèle DSGE, Niu et al. (2018) évaluent la réponse des émissions de carbone de la Chine aux chocs fiscaux environnementaux. Ils ont conclu que les chocs fiscaux environnementaux peuvent améliorer la structure énergétique en favorisant l'introduction des énergies propres. Cependant, certains chocs exogènes peuvent réduire les effets atténuants des

chocs fiscaux sur l'environnement, ce qui selon eux, entrainera une hausse probable des émissions sur une longue période.

En somme, il convient de remarquer que les effets environnementaux et non environnementaux de la taxation carbone ont fait l'objet de nombreux travaux qui auront enrichi la littérature dans ce domaine. Néanmoins, davantage d'études sur la question sont nécessaires en Afrique, car au regard de la revue, force est de constater qu'à part la littérature Sud-Africaine, rares sont celles qui traitent du sujet.

Compte tenu des diverses hypothèses utilisées dans les différents cadres de modélisation, il n'est pas réaliste de comparer directement les résultats trouvés. Cependant, la majorité des études ont prouvé que les taxes sur le carbone sont des outils efficaces pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub>. Aussi, lorsqu'elles sont couplées à des politiques de recyclages, elles peuvent procurer un deuxième dividende.

## **2. Méthodologie de l'étude**

Cette partie décrit la méthodologie utilisée afin de mesurer les implications de la mise en place d'une taxe carbone. Dans un premier temps, il s'agira de justifier le choix du modèle ensuite, d'en présenter le cadre méthodologique.

### **2.1. Choix et présentation du modèle**

Cette section présente de façon théorique sans spécification mathématique le modèle qui a été jugé plus apte à répondre au problème posé.

#### **2.1.1. Choix et justification du modèle**

La revue empirique a permis de voir que les principaux modèles qui sont utilisés pour traiter des questions liées à notre problématique sont :

- les modèles input-output;
- les modèles d'équilibre général calculable;
- les modèles d'équilibre général dynamiques stochastiques .

L'analyse Input-Output et la modélisation en équilibre général prennent en compte les liens entre les branches d'activité, les ménages et le gouvernement. Cependant, l'analyse Input-Output comporte certaines limites. Dans ces modèles, tous les coefficients techniques sont supposés fixes (Meng et Siriwardana ,2017). Par conséquent, le comportement des agents économiques face aux conditions économiques changeantes n'est pas pris en compte. Au mieux, cela suppose simplement que leurs comportements sont fixés mécaniquement par la fonction de Leontief. En revanche, le modèle EGC utilise diverses fonctions de production, de consommation et d'investissement pour décrire la réaction des agents économiques aux chocs externes. De plus, les MEGC peuvent être utilisés pour étudier les effets à moyen et long termes des mesures de politique économique structurelles (introduction d'un nouvel impôt, libéralisation des échanges extérieurs, etc.)( Edi et laffiteau (2017)).

Les modèles DSGE sont essentiellement des modèles de court terme compte tenu des hypothèses qui y sont formulées (Norberto, 2011). Ce qui invite à croire qu'ils sont peu adaptés à

cette étude. En fait, le mécanisme de la taxe carbone s'entreprind en général sur le long terme en ce sens que les juridictions, quand elles veulent mettre en place une taxe, commencent par fixer celle-ci à un niveau relativement faible pour ensuite la faire croître selon une trajectoire désirée compte tenu des objectifs fixés de baisses des émissions jusqu'à l'atteinte du niveau d'atténuation voulu (Grandjean et Jancovici, 2007). Ainsi, le modèle EGC est beaucoup plus complet et réaliste et ses résultats sont plus fiables.

Ces éléments conditionnent le choix porté aux modèles d'équilibre général calculable comme outils de simulation qui permettront de répondre à la problématique.

### **2.1.2. Présentation générale du modèle**

La théorie économique décrit le modèle d'équilibre général comme une méthode qui vise à reproduire les mécanismes d'offre et de demande d'une économie ainsi que les flux et transferts de biens et d'argent (Peters et al., 2001). La construction d'un tel modèle pose « l'hypothèse de l'existence d'un grand nombre de biens homogènes qui incluent non seulement des biens de consommation, mais également des facteurs de production » (Nicholson, 2005, pp. 335) dans une économie où chaque bien a un prix d'équilibre. Il repose sur la théorie de l'équilibre général néoclassique qui présuppose une concurrence parfaite telle que les consommateurs et les producteurs puissent prendre des prix relatifs qui égaliseraient la demande et l'offre sur chaque marché (Okodua et Alege, 2014).

De façon plus technique, ce modèle est un procédé statistique qui utilise un système d'équations décrivant l'ensemble de l'économie et ses interactions sectorielles (Babatunde et al., 2017). En tant que modèle multisectoriel, le MEGC repose sur des données réelles d'un pays ou d'un groupe d'économies nationales.

Le terme «calculable» souligne la capacité du modèle à quantifier et à déterminer les effets d'une simulation de politique à l'échelle de l'économie.

L'«équilibre» est un concept économique qui fait référence à une situation de l'économie relativement stable.

Il existe plusieurs types de MEGC. Selon les critères de classification, un modèle EGC peut appartenir à une famille de modèle statique ou dynamique, modèle mono-pays ou modèle global, modèle mono-région ou multirégional... Sur la base des questions de recherche abordées, un modèle EGC peut également être classifié comme un modèle EGC environnemental, énergétique, agricole, touristique,... Cette sous-section met le focus sur le volet dynamique des modèles EGC.

Lorsqu'une politique est implémentée, un modèle d'équilibre général statique met le focus sur la comparaison entre l'équilibre initial (avant) et final (après) de l'économie, et fait en sorte que l'économie réaffecte ses ressources de manière plus efficace. Le modèle statique fournit des informations utiles sur les perdants et les gagnants ultimes des chocs économiques sans toutefois capturer certains coûts et avantages liés à la transition. Ce modèle est parfois appelé modèle statique comparatif.

La dimension dynamique est reflétée au niveau des EGC selon deux approches : celle dite dynamique réursive et celle dite intertemporelle. Le modèle EGC dynamique réursif est utilisé

pour les analyses multi-périodes. Il obtient des solutions pour chacune des nombreuses années successives et la solution d'équilibre pour l'année  $t$  obtenue est utilisée comme année de référence pour l'année consécutive  $t+1$ , sans aucune considération pour les aspects inter-temporels de la prise de décision des agents économiques. De ce fait, les agents économiques sont implicitement confrontés à des attentes myopes ou adaptatives.

Des agents économiques tournés vers l'avenir et dotés d'une vision parfaite peuvent difficilement être modélisés de manière récursive, mais plutôt au moyen de modèles EGC dynamiques intertemporels. Dans ce cas, les décisions économiques prises au cours de la période  $t$  affectent les paramètres en périodes consécutives, qui reposent toutefois sur les valeurs attendues de ces paramètres. Enfin, malgré les nombreuses critiques contre les modèles statiques, la plupart des applications EGC sont de ce type. La raison pourrait en être que les modèles EGC dynamiques sont théoriquement plus complexes et très difficiles à résoudre du point de vue des algorithmes de calcul.

Dans le cadre de ce travail, le choix est porté sur le MEGC dynamique récursif inspiré du modèle standard du réseau PEP dénommé "The PEP standard computable general equilibrium model single-country, recursive dynamic version : PEP-1-t ". Ce choix est motivé par le fait que les modèles dynamiques récursifs sont généralement plus détaillés que les modèles inter-temporels, à cause du très fort volume de calcul que requièrent ces derniers pour la résolution simultanée. Un modèle plus détaillé, en effet, permet de mieux représenter la complexité du régime fiscal et l'hétérogénéité des comportements (Lemelin et Savard ,2017).

## **2.2. Gestion de la matrice de comptabilité sociale**

Selon le Système de Comptabilité National (SCN) 1993, « la matrice de comptabilité sociale est un outil permettant de présenter les comptes du système de comptabilité nationale sous une forme matricielle qui développe les interrelations entre le tableau des ressources et des emplois, et les comptes des secteurs institutionnels».

Cet outil montre clairement le lien entre la répartition des revenus et la structure économique fournissant ainsi un cadre analytique utile pour la modélisation; en d'autres termes, elle fournit une contribution directe à une série de modèles; c'est le cas du MEGC, pour lequel, elle est partie intégrante de l'ensemble de données de référence requises pour le calibrage (Pyatt, 1988).

Pour les besoins de l'étude , une micro-MCS du Sénégal de 2014 est utilisée. Il s'agit de celle conçue par le Centre Commun de Recherche de l'Union Européenne (CCR). Le niveau de désagrégation de cette matrice est assez détaillé. Le tableau suivant en donne la structure.

Tableau 1: Composition de la MCS du Sénégal

<b>Structure de la MCS</b>
55 branches d'activité (dont 14 ménages producteurs)
Produits commercialisés
Catégories de travail distinguées selon la qualification (qualifié, semi-qualifié et non-qualifié) dans 14 régions sénégalaises et 1 région représentant le reste du monde
Comptes de capital (agricoles, non agricoles, terre non irriguée, terre irriguée et élevage)
Un compte de marges
Un compte d'épargne-investissement
Comptes allouant les investissements (routes, irrigation, autres infrastructures, reste des investissements)
Catégories de ménages représentatifs (régionalisés)
Un compte d'entreprises
Un compte du gouvernement
Un compte du reste du monde

Source: Auteurs.

Dans le cadre de cette étude et compte tenu de la problématique, il n'a pas été jugé nécessaire de travailler avec un tel niveau de désagrégation.

L'analyse des impacts économiques de la mise en place d'une taxe sur le carbone n'impose pas nécessairement d'avoir une MCS désagrégée à ce point. Certains secteurs et produits ont donc fait l'objet d'agrégation. La nouvelle MCS découlant de ces opérations est formée de 40 comptes.

Onze (11) branches d'activité ont été retenues. Il s'agit des branches suivantes: "Agriculture", "Industrie Agroalimentaire", "Industries chimiques", "raffinage du pétrole", "Matériels & construction", "électricité-Gaz-Eau", hôtellerie et restauration", "les extractives", "autres services" et "autres industries". Pour plus de détail sur les secteurs qui ont été agrégés, confère tableau 10 de l'annexe A. Ces secteurs d'activité produisent onze (11) biens et services formant le compte des produits (voir 11 pour plus de détails). Trois (3) groupes de ménages ont été retenus: les ménages locaux répartis en zone rurale et urbaine, et les ménages du reste du monde. Concernant les facteurs de production, la nouvelle MCS n'en contient que six (6); la main d'œuvre locale et celle du reste du monde selon la qualification (non qualifiée, semi-qualifiée, et qualifiée), et un seul facteur capital.

Les comptes relatifs à la fiscalité qui s'établissaient au nombre de six, se résument maintenant à deux (3): les taxes directes, les taxes indirectes et les droits aux importations. Enfin du côté des investissements, les quatre (4) types ont été regroupés en un seul.

Les branches retenues au final permettent de mieux faire ressortir certains aspects liés à l'énergie à l'image d'Ibarrarán et al.(2015). Il convient de noter également que le mode d'agrégation des composants de la MCS est conditionné par le formalisme du modèle PEP-1-t qui impose certaines restrictions liées à la gestion de certains comptes (Robichaud et al., 2012).

### 2.3. Spécification du modèle

Le modèle de base utilisé dans ce travail est une adaptation du modèle PEP-1-t développé par Décaluwé et al. (2010). Les modifications apportées ont consisté à introduire les externalités positives liées aux investissements en infrastructures publiques qui vont stimuler la productivité totale des facteurs et la prise en compte des émissions de GES avec la création du bloc des émissions.

### 2.3.1. Structure de base du modèle (PEP-1-t)

Quelques équations du modèle sont présentées à ce niveau sous forme de blocs. Ces blocs sont relatifs à la production, aux agents économiques (ménage, firme, gouvernement, reste du monde), à la demande, à l'offre des produits et le commerce extérieur, aux conditions d'équilibre, à la fonction de bien être et au module dynamique.

#### 2.3.1.1. L'activité de production

L'activité de production est le fait des entrepreneurs (branches d'activité) dans un environnement de compétitivité parfaite. Ils tentent de maximiser leur profit sous la réalité contraignante de leur technologie de production et des prix.

La figure 3 dresse la structure emboîtée de la production qui appelle à la fois les facteurs et les technologies de production. La production d'une branche ( $XST_{j,t}$ ) est décrite par une fonction du type Léontief de la valeur ajoutée ( $VA_{j,t}$ ) et de la consommation intermédiaire ( $CI_{j,t}$ ). Une telle spécification permet d'exclure toute possibilité de substitution entre la valeur ajoutée et la consommation intermédiaire.

$$VA_{j,t} = v_j XST_{j,t}$$

$$CI_{j,t} = io_j XST_{j,t}$$

Avec  $v_j$  et  $io_j$  les coefficients de Léontief où  $j = 1 \dots 11$ .

La valeur ajoutée est une combinaison du travail composite ( $LDC_{j,t}$ ) et du capital composite ( $KDC_{j,t}$ ) à travers une technologie du type CES. Cette spécification tolère une substituabilité imparfaite entre les éléments qui entrent dans la composition de la valeur ajoutée.

$$VA_{j,t} = B_j^{VA} [\beta_j^{VA} LDC_{j,t}^{-\rho_j^{VA}} + (1 - \beta_j^{VA}) KDC_{j,t}^{-\rho_j^{VA}}]^{-\frac{1}{\rho_j^{VA}}}$$

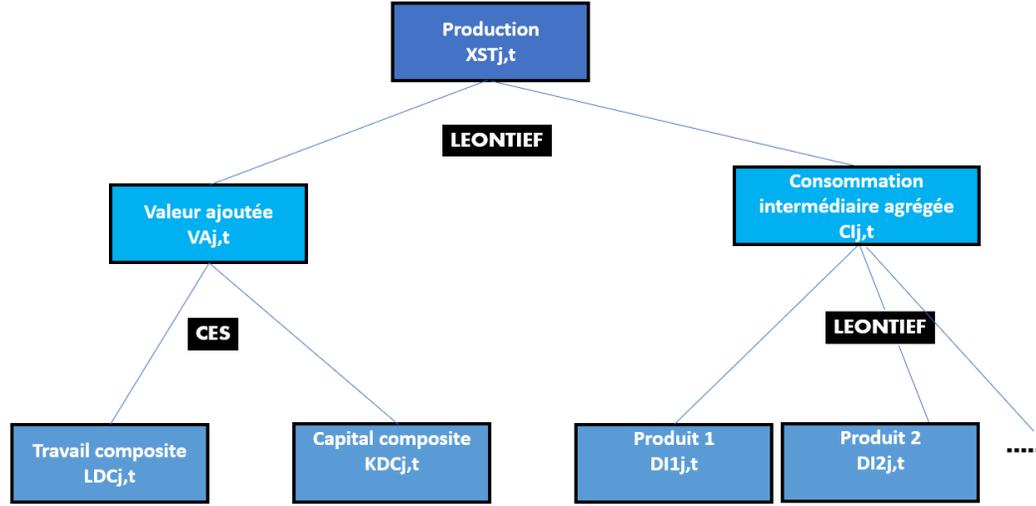
où

$B_j^{VA}$  : paramètre d'échelle (CES-Valeur Ajoutée);

$\beta_j^{VA}$  un paramètre de partage (CES-Valeur Ajoutée);

$\rho_j^{VA}$  : paramètre d'élasticité (CES-Valeur Ajoutée) ( $0 < \rho_j^{VA} < \infty$ );

Figure 3: Structure de l'activité de production



Source: Auteurs.

Les demandes de main d'œuvre et de capital par l'entrepreneur découlent de son souci de maximisation du profit. Il demandera ces facteurs aussi longtemps que la productivité marginale de chacun ne sera pas égale à sa rémunération réelle (salaire réel, loyer réel du capital). La relation suivante est obtenue par une minimisation des coûts des facteurs compte tenu de la spécification CES.

$$LDC_{j,t} = \left[ \frac{\beta_j^{VA}}{1 - \beta_j^{VA}} \frac{RC_{j,t}}{WC_{j,t}} \right]^{\sigma_j^{VA}} KDC_{j,t}$$

Avec  $RC_{j,t}$  la rémunération du capital composite de la branche  $j$ ,  $WC_{j,t}$  le taux de salaire de la main d'œuvre composite de l'industrie  $j$ , et  $\sigma_j^{VA}$  l'élasticité de la fonction CES avec

$$\rho_j^{VA} = \frac{1 - \sigma_j^{VA}}{\sigma_j^{VA}}.$$

Il convient de noter que le travail composite est une agrégation des travaux domestiques et du reste du monde selon le niveau de qualification (qualifié, semi-qualifié, non qualifié), le tout suivant une technologie CES (voir l'équation 5 de l'annexe B).

La consommation intermédiaire en bien  $i$  de la branche  $j$  est supposé être une fraction de la consommation intermédiaire totale de cette branche. Les différents biens et services sont agrégés suivant une technologie de type Leontief (voir l'équation 9 de l'annexe B).

### 2.3.1.2. Les ménages

Les ressources des ménages proviennent de trois sources: le revenu du travail, le revenu du capital et les transferts des autres agents.

$$YH_{h,t} = YHL_{h,t} + YHK_{h,t} + YHTR_{h,t}$$

Où  $YH_{h,t}$  est le revenu total du ménage du type  $h$ ,  $YHL_{h,t}$ , son revenu du travail,  $YHK_{h,t}$  son revenu du capital, et  $YHTR_{h,t}$  les transferts reçus des autres agents.

Chaque ménage reçoit une part fixe de chaque type de travail. De même que pour le revenu total du capital, il est distribué en des parts fixes entre les agents y compris les ménages.

$$YHL_{h,t} = \sum_l \lambda_{h,l}^{WL} (W_{l,t} \sum_j LD_{l,j,t})$$

$$YHK_{h,t} = \sum_k \lambda_{h,k}^{RK} (\sum_j R_{k,j,t} KD_{k,j,t})$$

$$YHTR_{h,t} = \sum_{ag} TR_{h,ag,t}$$

Avec  $R_{k,j,t}$  la rémunération du capital de type  $k$  de l'industrie  $j$ ,  $W_{l,t}$  la rémunération du travail de type  $l$ , et  $TR_{h,ag,t}$  le transfert effectué par l'agent  $ag$  au profit du ménage du type  $h$ .  $\lambda_{h,k}^{RK}$  (resp  $\lambda_{h,l}^{WL}$ ) est la part du revenu du capital de type  $k$  (resp du travail du type  $l$ ) reçu par le ménage du type  $h$ .

Le revenu disponible du ménage est obtenu en retirant du revenu total les taxes directes, les transferts réalisés par le ménage lui même au gouvernement (contributions sociales...). De plus, le revenu disponible après épargne et transferts à d'autres agents est entièrement consacré à la consommation. Dans cette spécification, l'épargne du ménage est une fonction linéaire du revenu disponible (voir l'équation **16** de l'annexe **B**). Cela diffère de la spécification fréquemment utilisée où l'épargne représente une proportion fixe du revenu. Elle permet à la propension marginale d'être différente de la propension moyenne. Ce choix est motivé par le fait qu'il est fréquent que certaines catégories de ménages aient une épargne négative.

$$YDH_{h,t} = YH_{h,t} - TDH_{h,t} - TR_{gvt,h,t}$$

$$CTH_{h,t} = YDH_{h,t} - SH_{h,t} - \sum_{agng} TR_{agng,h,t}$$

où  $YDH_{h,t}$  est le revenu disponible du ménage de type  $h$ ,  $CTH_{h,t}$  le budget qu'il alloue à la consommation,  $SH_{h,t}$  son épargne,  $TDH_{h,t}$  les impôts sur son revenu.

### 2.3.1.3. Les firmes

Le revenu de l'entreprise comprend d'une part, sa part dans le revenu du capital et, d'autre part, les transferts reçus d'autres agents.

$$YF_{f,t} = YFK_{f,t} + YFTR_{f,t}$$

$$YFK_{f,t} = \sum_k \lambda_{f,k}^{RK} (\sum_j R_{k,j,t} KD_{k,j,t})$$

$$YFTR_{f,t} = \sum_{ag} TR_{f,ag,t}$$

$$YDF_{f,t} = YF_{f,t} - TDF_{f,t}$$

$$SF_{f,t} = YDF_{f,t} - \sum_{ag} TR_{ag,f,t}$$

Où  $YF_{f,t}$  est le revenu total de la firme de type  $f$ ,  $YFK_{f,t}$  son revenu du capital,  $YFTR_{f,t}$  le revenu des transferts,  $\lambda_{f,k}^{RK}$  est la part du revenu du capital du type  $k$  destinée à la

firme. En déduisant du revenu total les impôts sur le revenu ( $TDF_{f,t}$ ), on obtient le revenu disponible ( $YDF_{f,t}$ ). L'épargne des entreprises est calculée en retirant du revenu disponible les transferts à d'autres agents.

#### 2.3.1.4. Le gouvernement

Le revenu du gouvernement est d'une origine manifestement variée. Le modèle Pep-1-t permet de gérer plusieurs types de taxes comme le montre l'équation ci-après.

$$YG_t = YGK_t + TDHT_t + TDFT_t + TPROD_t + TPRCTS_t + YGTR_t$$

le revenu du capital est donné par l'équation

$$YGK_t = \sum_k \lambda_{gvt,k}^{RK} \left( \sum_j R_{k,j,t} KD_{k,j,t} \right)$$

La logique est similaire à celle des autres agents; le gouvernement reçoit une part fixe ( $\lambda_{gvt,k}^{RK}$ ) du revenu de chaque type de capital.

- $TPRCTS_t$  taxes sur les produits: est le résultat de la somme des taxes sur les produits achetés sur le marché domestique, des droits aux importations et des taxes sur les exportations (voir l'équation **30** de l'annexe **B**);

- $TDHT_t$  et  $TDFT_t$  sont les taxes directes sur le revenu des ménages et des firmes. Ces taxes directes sont décrites par une fonction linéaire du revenu. Les constantes sont indexées par l'indice des prix à la consommation (voir les équations **35** et **36** de l'annexe **B**);

- $TPROD_t$  : ces impôts sur la production sont liées à l'activité production des entreprises. Elles sont collectés sur l'utilisation des facteurs (travail et capital) et sur tous les équipements utilisés à des fins de production qu'ils soient loués ou acquis. C'est par exemple les taxes versés payées pour l'acquisition d'une licence, l'utilisation des véhicules, des navires,... (voir l'équation **26** de l'annexe **B**);

- $YGTR_t$  est le revenu issu des transferts des autres agents sous forme de contributions aux programmes sociaux, de remises de dettes...(voir l'équation **34** de l'annexe **B**).

L'épargne publique (positive ou négative) est la différence entre le revenu public et les dépenses publiques en l'occurrence les dépenses en biens et services et les transferts effectués aux autres agents (voir l'équation **43** de l'annexe **B**).

#### 2.3.1.5. Le reste du monde

Le reste du monde reçoit des paiements qui correspondent à la valeur des importations, à une partie du revenu du capital et à des transferts d'agents nationaux (équation 5.1). Les dépenses en devises de l'économie nationale sont constituées de la valeur des exportations et des transferts aux agents nationaux. La différence entre les recettes et les dépenses en devises correspond au montant de l'épargne du reste du monde (équation 5.3), qui est égal à l'opposé du solde du compte courant (du pays concerné).

$$YROW_t = e_t \sum_i PWM_{i,t} IM_{i,t} + \sum_k \lambda_{row,k}^{RK} \left( \sum_j R_{k,j,t} KD_{k,j,t} \right) + \sum_{agd} TR_{row,agd,t}$$

$$SROW_t = YROW_t - \sum_i PE_{i,t}^{FOB} EXD_{i,t} - \sum_{agd} TR_{agd,row,t}$$

$$SROW_t = -CAB_t$$

Où:

$CAB_t$  le solde de la balance courante,  $PE_{i,t}^{FOB}$  et  $EXD_{i,t}$  sont respectivement le prix Franco à bord (FAB) du produit exporté  $i$  (en monnaie nationale) et le volume des exportations du produit  $i$ .

$PWM_{i,t}$ ,  $IM_{i,t}$ , et  $e_t$ , sont respectivement le prix mondial du bien  $i$  importé (exprimé en monnaie étrangère), la volume des importations du produit  $i$  et le taux de change à l'incertain.

### 2.3.1.6. La demande

La demande globale de biens et de services comprend la demande intermédiaire, la demande de consommation des ménages, la demande d'investissement, la demande comme marges de commerce et de transport<sup>16</sup>, et la demande des administrations publiques.

#### La demande de consommation des ménages

Les ménages sont supposés avoir des fonctions d'utilité du type Stone-Geary. Une caractéristique de ces fonctions d'utilité est qu'il existe un niveau minimum de consommation de chaque produit (cependant celui-ci peut être nul pour certains). Contrairement aux fonctions d'utilité de Cobb-Douglas, souvent utilisées dans la littérature, cette spécification n'impose ni élasticité croisée nulle entre deux biens, ni élasticité de revenu unitaire des biens. Ainsi, elle offre une certaine souplesse en ce qui concerne les possibilités de substitution en réponse aux variations des prix relatifs. Le problème du ménage de type  $h$  s'établit comme suit:

$$\begin{aligned} \max_{C_{i,h,t}} U_{h,t} &= \prod_i (C_{i,h,t} - C_{i,h,t}^{MIN})^{\gamma_{i,h}^{LES}} \\ \text{s.c.} \sum_i PC_{i,t} C_{i,h,t} &= CTH_{h,t} \end{aligned}$$

La résolution du problème établi ci-dessus détermine la fonction de demande de chaque produit  $i$  du ménage de type  $h$

$$PC_{i,t} C_{i,h,t} = PC_{i,t} C_{i,h,t}^{MIN} + \gamma_{i,h}^{LES} (CTH_{h,t} - \sum_{ij} PC_{ij,t} C_{ij,h,t}^{MIN})$$

Pour le ménage du type  $h$ :  $C_{i,h,t}^{MIN}$ ,  $C_{i,h,t}$ , et  $\gamma_{i,h}^{LES}$  représentent respectivement la consommation minimale du bien  $i$ , la consommation de ce bien et la part de ce bien dans le budget de consommation.

---

<sup>16</sup> Les services rendus par les producteurs aux acheteurs comme le transport des marchandises sont des marges et sont considérées comme des achats directs de services.

## La demande d'investissement

La demande d'investissement comprend à la fois la formation brute de capital fixe (FBCF) et les variations de stocks.

$$GFCF_t = IT_t - \sum_i PC_{i,t} VSTK_{i,t}$$

Les dépenses de la FBCF sont obtenues en soustrayant le coût des variations de stocks des dépenses d'investissement totales (équation 6.2.1).

$$PC_{i,t} INV_{i,t}^{PRI} = \gamma_i^{INV PRI} IT_t^{PRI}$$

$$PC_{i,t} INV_{i,t}^{PUB} = \gamma_i^{INV PUB} IT_t^{PUB}$$

Les investissements privés et publics sont répartis entre les produits de base en parts fixes (équations 6.2.2 et 6.2.3).

$$INV_{i,t} = INV_{i,t}^{PUB} + INV_{i,t}^{PRI}$$

La FBCF comprend des investissements privés et publics. La quantité demandée de chaque produit  $i$  à des fins d'investissement est la somme de la quantité demandée pour l'investissement privé et pour l'investissement public (équation 6.2.4).

$$PC_{i,t} CG_{i,t} = \gamma_i^{GVT} G_t$$

La même hypothèse est faite en ce qui concerne les dépenses courantes des administrations publiques en biens et services (équation 6.2.5). Avec un budget de dépenses actuel donné, la quantité demandée pour chaque produit varie en sens inverse avec son prix.

### Demande de biens intermédiaires

Les biens concernés à ce niveau sont ceux intervenant dans le processus de production de biens et services. La demande intermédiaire de chaque bien est la somme des demandes des industries.

$$DIT_{i,t} = \sum_j DI_{i,j,t}$$

avec  $DI_{i,j,t}$  la demande intermédiaire en bien  $i$  par l'industrie  $j$ .

### 2.3.1.7. L'offre des produits et le commerce extérieur

Les relations qu'entretiennent l'économie domestique et le RDM sont décrites à travers les comportements des producteurs et des consommateurs domestiques. Deux hypothèses sont faites dans le cadre de la modélisation du commerce extérieur: celle du "petit pays" et celle d'Armington. L'hypothèse du petit pays suppose les prix des biens étrangers sont exogènes (Jean S., 2002) en d'autres termes le Sénégal est incapable d'influencer les prix mondiaux, il est donc preneur de prix. La deuxième hypothèse se veut d'introduire une substituabilité imparfaite entre des mêmes biens d'origine géographique différente. Elle permet d'exploiter la diversité des goûts du consommateur.

Les biens et services du marché domestique qui font l'objet d'une demande sont formés des produits locaux et des produits importés. L'hypothèse d'Armington traduisant l'imparfaite substituabilité entre ces catégories de biens voudrait que l'on ait:

$$Q_{i,t} = B_i^M [\beta_i^M IM_{i,t}^{-\rho_i^M} + (1-\beta_i^M)DD_{i,t}^{-\rho_i^M}]^{\frac{-1}{\rho_i^M}}$$

$Q_{i,t}$  : quantité demandée en bien  $i$  ;

$DD_{i,t}$  : demande domestique du bien  $i$  localement produit;

$IM_{i,t}$  : quantité de bien  $i$  importée;

$B_i^M$  : Paramètre d'échelle (CES-Bien composite) ;

$\beta_i^M$  : paramètre de partage (CES-Bien composite), ( $0 < \beta_i^M < 1$ ) ;

$\rho_i^M$  : un paramètre d'élasticité (CES-Bien composite) ( $-1 < \rho_i^M < \infty$ )

Le produit agrégé d'une firme est une combinaison de tous les biens et services produits par cette firme selon une technologie CET (Constant-Elasticity of transformation). En d'autres termes, les biens et services produits par ces derniers ne sont pas parfaitement transformables les uns aux autres.

$$XST_j = B_j^{XT} [\sum_i \beta_{j,i}^{XT} XS_{j,i,t}^{\rho_j^{XT}}]^{\frac{-1}{\rho_j^{XT}}}$$

Où

$XS_{j,i,t}$  : Production de l'industrie  $j$  du bien  $i$ ;

$B_j^{XT}$  : Paramètre d'échelle (CET-production totale)

$\beta_{j,i}^X$  : paramètre de partage (CET-production totale) ( $0 < \beta_{j,i}^{XT} < 1$ ) ;

$\rho_{j,i}^X$  : Paramètre d'élasticité (CET-production totale) ( $-1 < \rho_{j,i}^{XT} < \infty$ )

L'offre de chaque bien est ensuite répartie entre le marché domestique et le marché extérieur toujours sous l'optique de maximisation du profit sous la réalité contraignante de la demande de chaque marché et des taxes qui s'y appliquent (voir l'équation **62** de l'annexe **B**).

### 2.3.1.8. Les conditions d'équilibre

Que ce soit pour le marché des biens et services ou celui des facteurs, l'équilibre entre l'offre et la demande doit être vérifié.

$$Q_{i,t} = \sum_h C_{i,h,t} + CG_{i,t} + INV_{i,t} + VSTK_{i,t} + DIT_{i,t} + MRGN_{i,t}$$

l'équilibre entre l'offre et la demande de chaque produit sur le marché intérieur;

$$\sum_j LD_{l,j,t} = LS_{l,t}$$

$$\sum_j KD_{k,j,t} = KS_{k,t}$$

ces deux équations assurent l'équilibre entre la demande totale de chaque facteur et l'offre disponible;

$$IT_t = \sum_h SH_{h,t} + \sum_h SF_{f,t} + SROW_t + SG_t$$

cette équation donne l'équilibre épargne - investissement;

$$II_{i,t}^{PRI} = II_t - II_{i,t}^{PUB} - \sum_i PC_{i,t} VSTK_{i,t}$$

la somme des différentes formes de dépenses d'investissement doit être égale à l'investissement total;

$$\sum_j DS_{j,i,t} = DD_{i,t}$$

la somme des approvisionnements de chaque produit par les producteurs locaux doit être égale à la demande intérieure pour ce produit fabriqué localement;

$$\sum_j EX_{j,i,t} = EXD_{i,t}$$

l'offre sur le marché d'exportation de chaque produit doit être adaptée à la demande.

### 2.3.1.9. Le bien-être des ménages

La mesure du bien-être part du fait que tous les agents ne subissent pas la même perte d'utilité suite à une politique économique. Dans ce modèle, la mesure du bien-être utilisée est la variation équivalente (VE) telle que retenue par Cloutier et al. (2004). Sa représentation mathématique est la suivante:

$$VE_h = \prod_i \left( \frac{PCO_i}{PCi} \right)^{\gamma_i^{LES}} (CTH_h - \sum_{ij} C_{h,ij}^{min} PC_{ij}) - (CTHO_h - \sum_{ij} CO_{h,ij}^{min} PCO_{ij})$$

La variation équivalente mesure la variation du revenu des ménages, par rapport à la situation de référence, nécessaire pour atteindre le niveau d'utilité de la nouvelle situation. Ainsi, le calcul de cette grandeur permettra d'apprécier la variation du bien-être des ménages suite aux différentes politiques.

### 2.3.1.10. La dynamique du modèle

La dynamique du modèle est régie par une relation d'une période à l'autre entre les différentes grandeurs. La récursivité du modèle voudrait qu'il s'appelle lui-même, moyennant une actualisation des conditions initiales. Cette actualisation est liée à un certain nombre d'instructions pouvant être séparées en deux catégories. Celles régissant l'accumulation du capital et celles assurant la progression des variables selon un taux constant (celui de la population).

L'accumulation du capital obéit à la règle suivante:

$$KD_{k,j,t+1} = KD_{k,j,t} (1 - \delta_{k,j}) + IND_{k,j,t}$$

Où  $IND_{k,j,t}$  représente le Volume des nouveaux investissements de type  $k$  dans le secteur  $j$  (soit public ou privé), et  $\delta_{k,j}$  le taux de dépréciation du capital utilisé par la branche  $j$ . Le stock de capital de type  $k$  dans l'industrie  $j$  à la période  $t+1$  est égal au stock de la période précédente, moins l'amortissement, plus le volume des nouveaux investissements en capital de la période précédente. La structure temporelle sous-jacente est donc que les nouveaux capitaux sont mis en ligne une période après l'investissement.

L'offre de travail croît au même taux que celui de la population ( $n_t$ ):

$$LS_{t,t+1} = LSO^* \text{pop}(t) = LS_{t,t}(1+n_t)$$

Il en est de même pour d'autres variables. La raison pour laquelle les constantes et les variables exogènes croissent au même rythme que l'offre de main-d'œuvre est de permettre au modèle de simuler un sentier de croissance équilibré. On dit qu'une économie suit un sentier de croissance équilibré si toutes les quantités croissent à un taux constant, tandis que les prix relatifs restent fixes. Il peut être utile comme scénario «business-as-usual» (BAU) ou pour tester la cohérence du modèle.

### 2.3.2. Les externalités liées aux investissements en infrastructures

L'idée ici est de rattacher l'infrastructure publique aux facteurs de productivité. Pour cela, nous nous appuyons sur la vaste littérature reliant l'infrastructure à la productivité des facteurs dans le secteur privé, telle que celle modélisée par Dumont et Mesplé-Somps (2001) dans un contexte d'EGC, bien que notre fonction d'externalité n'utilise pas l'investissement privé. La fonction définissant l'externalité est définie comme suit:

$$\beta_i = \left(\frac{Itp}{Itp0}\right)^{\varepsilon_i}$$

Où  $\beta_i$  est l'externalité ou l'effet de productivité sectoriel,  $Itp$  le nouvel investissement public, et  $Itp0$  est l'investissement public dans la situation de base et  $\varepsilon_i$ <sup>17</sup> est l'élasticité propre à chaque secteur. L'externalité des investissements publics en infrastructures affecte positivement la productivité totale des facteurs. La relation entre l'externalité et la valeur ajoutée a été modélisée par les auteurs à travers une fonction Cobb-Douglas définie comme suit:

$$Va_j = \beta_i A_j Ld_j^{\alpha_j} Kd_j^{1-\alpha_j}$$

Où  $A_j$  est un paramètre d'échelle,  $Ld_j$  la demande de travail,  $Kd_j$  est la demande de capital et  $\alpha$  est le paramètre de Cobb-Douglas, une élasticité sectorielle  $\alpha_j$ . Compte tenu de ce formalisme, une augmentation de  $\beta_i$  représente une amélioration neutre de la productivité de Hicks, comme celle modélisée dans Yeaple et Golub (2007).

En se référant à l'approche de Dumont et Mesplé-Somps (2001), le paramètre de productivité des facteurs de la fonction de la valeur ajoutée (II.1) sera modifiée. Le résultat suivant est obtenu:

$$VA_{j,t} = APK_{j,t} [\beta_j^{VA} LDC_{j,t}^{-\rho_j^{VA}} + (1-\beta_j^{VA}) KDC_{j,t}^{-\rho_j^{VA}} ]^{\frac{1}{\rho_j^{VA}}}$$

avec

---

<sup>17</sup> Les valeurs de ces paramètres proviennent des travaux de Perrault J., Savard L. et Estache A. (2010)

$$APK_{j,t} = B_j^{VA} \cdot \left( \frac{Itpub(t)}{ItpubO} \right)^{\varepsilon_j}$$

Où  $Itpub(t)$  est l'investissement total du gouvernement,  $ItpubO$  est l'investissement du gouvernement au niveau initial et  $\varepsilon_j$  est l'élasticité spécifique à chaque secteur.

Une part  $p\_inv(\%)$  des recettes environnementales va être allouée au financement des investissements publics. Les dépenses totales<sup>18</sup> de ces derniers proviennent des dépenses dans la situation de base en plus de la portion financée par les taxes environnementales comme on peut le voir dans l'équation suivante:

$$Itpub(t) = ItpubO + p\_inv * revenu\_tax(t)$$

### 2.3.2.1. Les paramètres d'externalités

Adam et Bevan (2006), ont également travaillé sur les externalités liées à la production d'infrastructures publiques, et ont eu à considérer que l'élasticité de production des infrastructures est la même dans tous les secteurs. Compte tenu du fait qu'il y a très peu d'accord empirique sur l'ampleur des effets sur la productivité des investissements en infrastructures dans les pays en développement, ces auteurs supposent une élasticité égale à 0,5.

Par la suite, Perrault et al. (2010) ont construit un modèle d'équilibre général calculable (EGC) pour explorer l'impact économique de l'augmentation des dépenses en infrastructures dans six pays africains: le Bénin, le Cameroun, le Mali, le Sénégal, la Tanzanie et l'Ouganda. A cet effet, ils ont eu à utiliser des paramètres d'externalité selon la nature de l'investissement:

- infrastructures électriques;
- infrastructures routières;
- infrastructures de télécommunication.

Compte tenu de l'exhaustivité des travaux de Perrault et al. (2010) et des paramètres d'externalité spécifiés selon le type d'infrastructure (ce qui est plus réaliste que l'approche d'Adam et Bevan (2006)), le choix est porté sur paramètres suggérés par Perrault et al.(2010). Ces paramètres ont donc été adaptés à la structure de la MCS puis mis en annexe (voir tableau 13 pour plus de détails).

### 2.3.3. La taxe carbone et les émissions de GES

Cette sous-section explique la façon dont les émissions de gaz à effet serre et la taxe sur le carbone sont implémentées dans le modèle.

#### 2.3.3.1. Dynamique des émissions de GES

Afin de modéliser un bloc des émissions, il sera procédé selon l'approche de Dissou (2005) cité par Moutaouakkil (2018). Cette approche considère que le total des émissions est égal à la somme des émissions de chaque type de fossile. Les émissions pour chaque type de fossile sont

---

<sup>18</sup> Approche similaire à celle de Moutaouakkil. (2018)

égales au produit de l'intensité en carbone ( $\beta_i$ ) relatif à ce dernier et de sa quantité consommée ( $X_i$ ).

$$emission\alpha = \beta_{charbon} X_{charbon} + \beta_{GPL} X_{GPL} + \beta_{essence} X_{essence} + \dots + \beta_{fioul} X_{fioul}$$

L'approche de Dissou (2005) sera par suite modifiée de telle sorte à permettre l'utilisation des intensités en carbone <sup>19</sup> estimées par Arndt et al. (2013) pour l'économie Sud-africaine. Les intensités en carbone par produit agrégé mesuré par Arndt et al. (2013) permettent de capter les émissions liées à la demande d'un produit. Ce coefficient incorpore non seulement les émissions liées au produit mais aussi, toutes les émissions liées aux activités ayant concouru à sa mise en œuvre (extraction, transformation...) jusqu'à sa mise en disposition dans le marché.

Exemple: Si l'intensité en carbone du charbon est de 12,288tCO<sub>2</sub>/[1000 rands] elle inclut la teneur en carbone du charbon mais aussi, le carbone contenu dans le processus d'extraction de celui-ci (c'est-à-dire dans les biens et services utilisés pour l'extraire du sol et le fournir au marché).

Compte tenu du faible niveau de désagrégation de la MCS concernant le secteur énergétique (extractives, raffinage/cokéfaction, électricité), la mesure des émissions de GES concerne la demande intermédiaire et finale de combustibles fossiles. En effet, les émissions polluantes sont provoquées par la consommation d'un bien final polluant et par l'utilisation par les entreprises d'un input polluant (Chiroleu-Assouline (2001)). De plus, faute de pouvoir capter les émissions de GES dans leur globalité, à partir des coefficients estimés par Arndt et al. (2013), la référence aux gaz à effet de serre dans le modèle concerne juste le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) issus de la combustion des combustibles.

### 2.3.3.2. Implémentation de la taxe sur le carbone

Il s'agira ici de décrire la façon dont la taxe sur le carbone est incorporée dans le modèle. L'approche s'inspire des travaux d'Ibarrarán et al. (2015) dont les résultats des simulations ont été présentés dans "The Integrated Green Economy Modelling Framework – Technical Document" produit par l'UNEP en 2017 en collaboration avec le Partenariat pour l'action sur l'économie verte (PAGE)<sup>20</sup>.

Leur approche consiste à convertir la taxe (exprimée en \$/tCO<sub>2</sub>) en des taux de taxe (en %) appliqués aux productions des secteurs qui procurent les combustibles fossiles ciblés (à l'économie nationale)<sup>21</sup>. En outre, cette approche suppose que la taxe carbone s'établit en droit d'accise en fonction de la teneur en carbone des combustibles fossiles et serait donc limitée aux carburants à base de carbone. Afin de procéder à une telle conversion, il faut d'abord disposer de la structure de la consommation en combustibles (primaires et secondaires) du pays (la dernière année pour laquelle ces données sont disponibles). Ensuite, selon le type de combustible, il faut utiliser le **facteur d'émission** (proposé par le GIEC voir en annexe 9) associé qui permet d'obtenir la quantité

---

<sup>19</sup> Voir les valeurs en annexes

<sup>20</sup> La méthodologie a été détaillée dans Joana et Araceli (2017)

<sup>21</sup> La taxe considérée est une taxe en amont qu'elle s'applique aux entreprises par qui les combustibles entrent dans de l'économie.

totale d'émission relative à ce combustible. L'étape suivante consiste à calculer le revenu potentiel de la taxe carbone associée à chaque combustible, on peut à ce niveau choisir un niveau de taxation (en \$/tCO<sub>2</sub>) propre à chaque combustible. Enfin, le revenu potentiel de la taxe rapporté à la production brute en valeur du secteur (qui produit le combustible) permet d'avoir le taux de taxe à imposer au-dit secteur.

Compte tenu du niveau d'agrégation de la MCS, le secteur du "raffinage /cokéfaction" est celui qui produit l'essentiel des combustibles secondaires (kérosène, pétrole lampant, gasoil,...). Les données associées à la production et à la consommation de ces énergies sont tirées du Système d'Information Énergétique du Sénégal (SIE 2014) complétées par celles de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE). Ces taux de taxe, une fois calculés à partir d'un fichier excel, seront par suite intégrés au modèle pour simuler les différentes politiques.

#### **2.3.4. Le paramétrage du modèle**

Cette partie présente deux procédures fondamentales de la construction d'un modèle EGC, il s'agit du calibrage et du bouclage. Les résultats des simulations dépendent de plusieurs hypothèses mais aussi de la qualité des données utilisées sans oublier la façon dont le comportement des agents a été spécifié.

##### **2.3.4.1. Le calibrage du modèle**

Cette étape consiste à l'utilisation des données de la MCS pour fixer les valeurs de départ des paramètres de l'économie telles que la production totale, les consommations intermédiaires de chaque branche, le niveau de l'investissement... Cependant, dans de nombreux cas, ces informations ne sont pas suffisantes pour identifier tous les paramètres liés au comportement des agents. Le recours à des informations supplémentaires est donc un passage forcé. Ces paramètres sont dits libres mais leur choix est crucial, parce qu'ils ont un impact conséquent sur les résultats des simulations. Rigoureusement, ils devraient faire l'objet d'une estimation économétrique. Cependant, compte tenu du déficit en données auquel nous faisons face, le recours à la littérature est de mise. Cette collecte au niveau de la littérature procède en général d'une sélection de certains paramètres (élasticités) d'un pays qui présente des caractéristiques similaires à celui qui fait l'objet de la modélisation (Décaluwé et al. 2011). La majeure partie des paramètres utilisés proviennent de la base fournie par Décaluwé et al. (2003) et des rapports conçus par les services techniques du ministère (Direction des Prévisions et des Études Économiques, Direction de la Planification).

##### **2.3.4.2. Le bouclage du modèle**

Il arrive en général que le nombre de variables soit différent du nombre d'équations indépendantes. Ainsi le système devient sous-déterminé (ou sur-déterminé) et donc impossible à résoudre par le logiciel. Face à cette situation, la fixation de certaines variables est nécessaire. Cette action n'est rien d'autre qu'un moyen d'exogénéiser ces variables de sorte que le modèle se serve d'elles comme des données. Néanmoins cette exogénéisation doit veiller à respecter certaines caractéristiques propres à l'économie.

Le Sénégal est supposé être "un petit pays", ce qui conduit à fixer les prix internationaux. Le taux de croissance démographique est fixé à 2,5% (DPEE). Le taux de change nominal comme numéraire, les dépenses du gouvernement et l'investissement publiques sont fixés à chaque période. Par ailleurs, d'autres variables exogènes varient selon le rythme annuelle de la population, c'est le cas du niveau minimal de la consommation des ménages, l'offre de travail, la variation de stocks et l'impôt sur le revenu.

### **3. Présentation et analyse des résultats**

Cette partie présente les différentes simulations envisagées pour l'économie sénégalaise relatives à la problématique de la taxation carbone.

#### **3.1. Profil des émissions**

La manière dont la taxe carbone affectera l'économie au point de générer des recettes et entrainer la baisse du niveau des émissions, dépend grandement de la structure de l'économie dans son ensemble et des principaux secteurs émetteurs en particulier.

##### **3.1.1. Profil énergétique du Sénégal**

Le diagramme de Sankey produit par l'AIE (voir figure 11 en annexe) permet de faire une lecture globale des flux de transferts d'énergie d'un pays au cours d'une année. En général, cette structure ne change pas trop d'une année à l'autre, les différences qui peuvent être notées résident en général au niveau des volumes. Ces grandeurs sont données en térajoules (Tj). Il ressort du diagramme de l'année 2016 que les principales sources d'énergies primaires du Sénégal sont la biomasse<sup>22</sup> (charbon de bois, charbon de chauffe...) produite localement (64634 Tj), le pétrole brut importé (49527 Tj), et le charbon (19100 Tj). Du côté des combustibles secondaires, constitués pour l'essentiel par les produits pétroliers raffinés, on remarque que la majeure partie est issue des importations (plus de 65% des produits pétroliers utilisés dans l'économie ont été importés).

Concernant les emplois de ces différents combustibles, il convient de noter que le charbon (houille) importé est directement utilisé au niveau du secteur industriel. La biomasse est, à son tour, consommée pour l'essentiel par le secteur résidentiel en particulier les ménages (représentant plus de 80,0% de leur consommation en énergie). Les produits pétroliers interviennent dans la production d'électricité (30937 Tj), le transport (40492 Tj), le secteur industriel (6213 Tj), mais aussi font l'objet d'exportation (37321 Tj).

Globalement, ce diagramme montre que le Sénégal est très dépendant des énergies fossiles. De plus, cet état de fait est plus marqué au niveau des secteurs productifs tels que le transport et l'électricité.

L'attention portée à ces secteurs se justifie en général par le fait qu'ils sont très polluants de par la technologie qu'ils utilisent. S'agissant du transport au Sénégal, ses intrants énergétiques

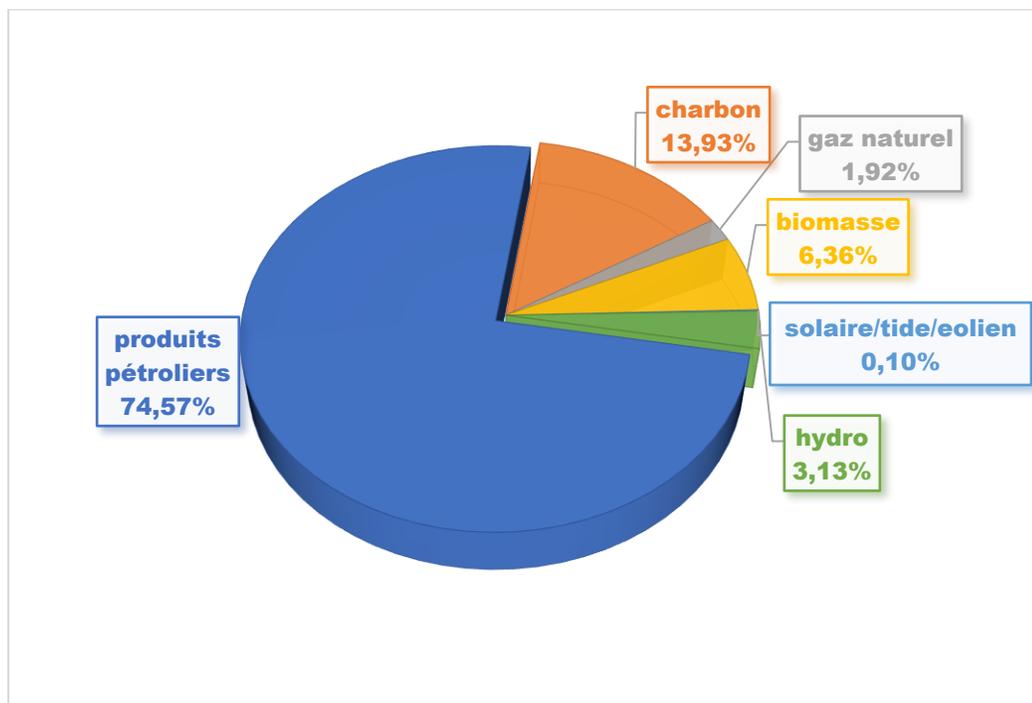
---

<sup>22</sup> La biomasse comprend toute matière organique non fossile d'origine biologique qui peut être utilisée comme combustible pour la production de chaleur ou la génération d'électricité (AIE, 2005).

se résumant aux produits pétroliers (gasoil, diesel...). Cependant pour l'électricité, les sources sont multiples.

La production d'électricité elle est pour l'essentiel issue des combustibles fossiles soit: plus de 74,6% des produits pétroliers et 13,9% du charbon (houille). Le reste de la production est obtenue à partir de la biomasse (6,4%), du gaz naturel (1,9%), et des autres énergies renouvelables (3,1%).

Figure 4: Contributions des différentes sources d'énergie à la production d'électricité



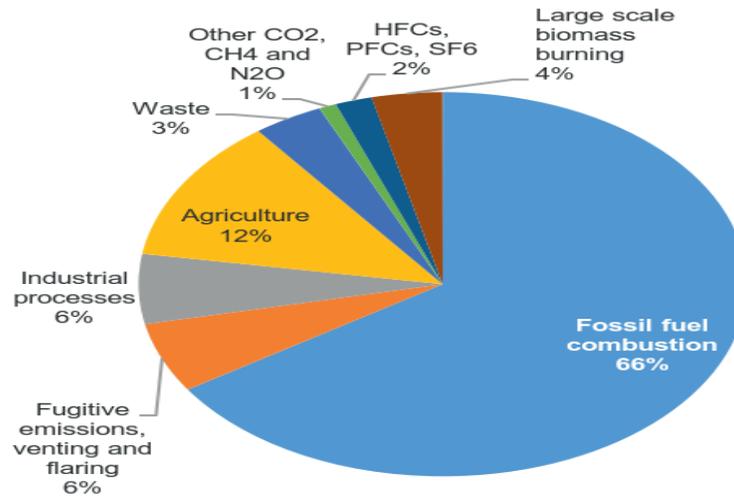
Source: Auteurs, à partir des données de l'IEA World Energy Balances 2018.

La dépendance de la production d'électricité en produits pétroliers laisse présager un niveau de pollution assez élevé pour ce secteur, ce qui suggère donc qu'il sera très affecté par la politique de taxation, idem pour le secteur des transports.

### 3.1.2. Profil des émissions de GES

Il convient d'abord d'examiner les tendances mondiales en termes d'émissions de GES et cela se fera par la lecture du diagramme suivant. Celui-ci renseigne sur les sources des émissions de GES mondiales selon une répartition sectorielle adoptée par le AIE.

Figure 5: Émissions mondiales de GES par source en 2012



Source: International Energy Agency(2017).

En 2012, le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) représentait 75% des émissions mondiales de GES, le méthane (CH<sub>4</sub>) environ 18%, l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O) environ 6% et les gaz fluorés combinés<sup>23</sup> environ 2% (IEA, 2017). Les principales sources d'émissions de GES étaient la combustion de combustibles fossiles (66%, principalement le CO<sub>2</sub>) et l'agriculture<sup>24</sup> (12%, principalement le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O). Les autres sources de gaz à effet de serre étaient le CO<sub>2</sub> provenant de la combustion de la biomasse (4%, principalement des incendies de forêt dans les pays) et le CO<sub>2</sub> provenant des procédés industriels<sup>25</sup> (6%, principalement la production de ciment).

Ces résultats invitent à croire que **la dynamique des émissions de GES est expliquée dans une grande mesure par celle des émissions de CO<sub>2</sub>.**

### 3.1.2.1. Analyse au niveau national

L'analyse de la dynamique des émissions de CO<sub>2</sub> (en mégatonnes) issues de la consommation d'énergies fossiles montre que la quasi-totalité des émissions liées aux énergies fossiles est due à la consommation de produits pétroliers. Celle-ci a atteint un pic en 2012 à hauteur de 6,2 mégatonnes de CO<sub>2</sub>, soit près de 87,6% du total des émissions de la période. Les contributions des autres combustibles ont été notables à des périodes plus ou moins récentes. En effet, si on s'en réfère au graphique, c'est à partir de 1993 (resp 2004) que les émissions issues de

<sup>23</sup> les hydrofluorocarbures (HFC), les perfluorocarbures (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>)

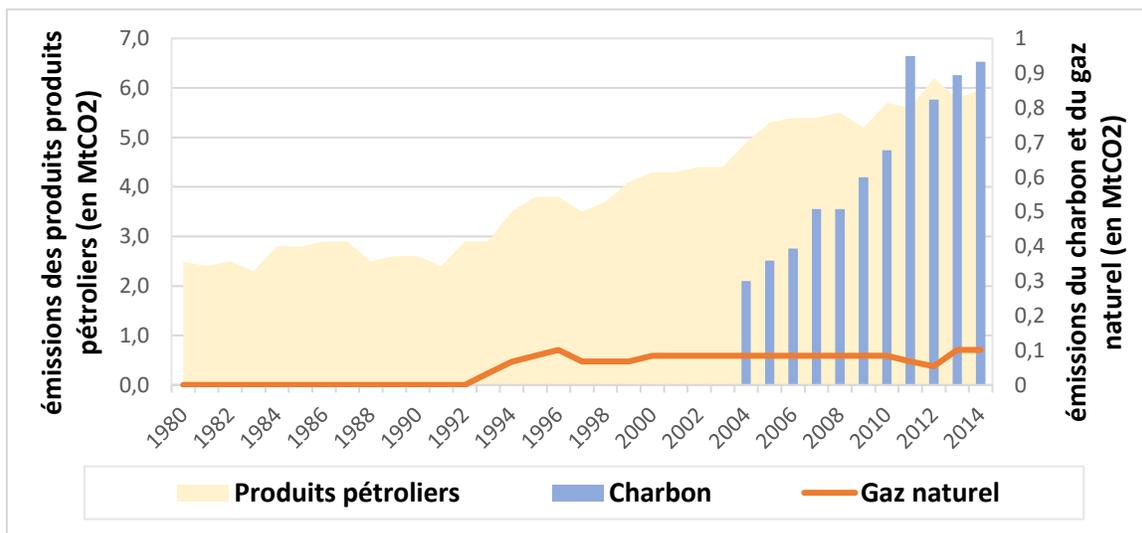
<sup>24</sup> L'agriculture comprend la fermentation entérique, la production de riz, la gestion du fumier, l'utilisation d'engrais (synthétique et fumier), la gestion des déchets animaux (fumier), la combustion de déchets agricoles (non énergétiques, sur site) et la combustion de savanes (IEA,2017).

<sup>25</sup> Les procédés industriels désignent la production de ciment, de chaux, de carbonate de sodium, de carbure, et de la plupart des produits chimiques, pour lesquels les émissions ne comprennent pas les émissions résultant de la combustion. (IEA, 2017).

Le terme "fugitif" désigne principalement le brûlage à la torche du gaz associé dans la production de pétrole et de gaz (y compris, dans certains cas, le CO<sub>2</sub> indirect provenant de l'évacuation de méthane). Les déchets comprennent les décharges, le traitement des eaux usées, l'élimination des eaux usées et l'incinération des déchets (sans énergie) (IEA, 2017).

la consommation des gaz naturels (resp charbon) ont entamé une dynamique marquée par une succession de baisses et de hausses. Cependant, la variation moyenne de 2005 à 2014 s'élève à hauteur de 2,0% (resp 11,2%). Les émissions issues du charbon se font remarquer de plus en plus car depuis 2013, elles avoisinent 0,9 mégatonnes de CO<sub>2</sub>.

Figure 6: Évolution des émissions de CO<sub>2</sub> issues de l'utilisation des différentes sources d'énergies fossiles



Source: Auteurs, à partir des données de l'U.S. Energy Information Administration.

Cette dynamique des émissions est assez compréhensible. D'abord, les écarts existant entre les facteurs d'émission du charbon et des produits pétroliers ne sont pas très grands, donc le différentiel du niveau de pollution s'explique par les quantités utilisées par le pays. En effet, les secteurs qui polluent le plus en l'occurrence l'électricité et le transport utilisent plus de produits pétroliers que de charbon. De plus, il convient de noter que c'est à partir de 2004 que les cimenteries ont commencé à utiliser le charbon dans leurs fours pour la cuisson du clinker. Hormis le fait que l'approvisionnement en gaz naturel est négligeable comparé aux autres combustibles fossiles (sa production maximale de 1980 à 2016 a été de 1957Tj), il y a aussi le fait que ce dernier brûle plus proprement comparé aux autres. En effet, la combustion du gaz naturel émet principalement de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone en faible quantité. Une qualité qui lui permet de générer 30 à 50% d'émissions de CO<sub>2</sub> en moins que les autres combustibles<sup>26</sup>.

### 3.1.2.2. Analyse au niveau sectoriel

Les émissions d'un pays peuvent être ventilées par secteur économique ou par secteur émetteur, tels que défini par le GIEC (2014)<sup>27</sup>. La répartition présentée dans le graphique ci-dessous

<sup>26</sup> <https://www.grdf.fr/particuliers/gaz-naturel/gaz-respect-environnement>

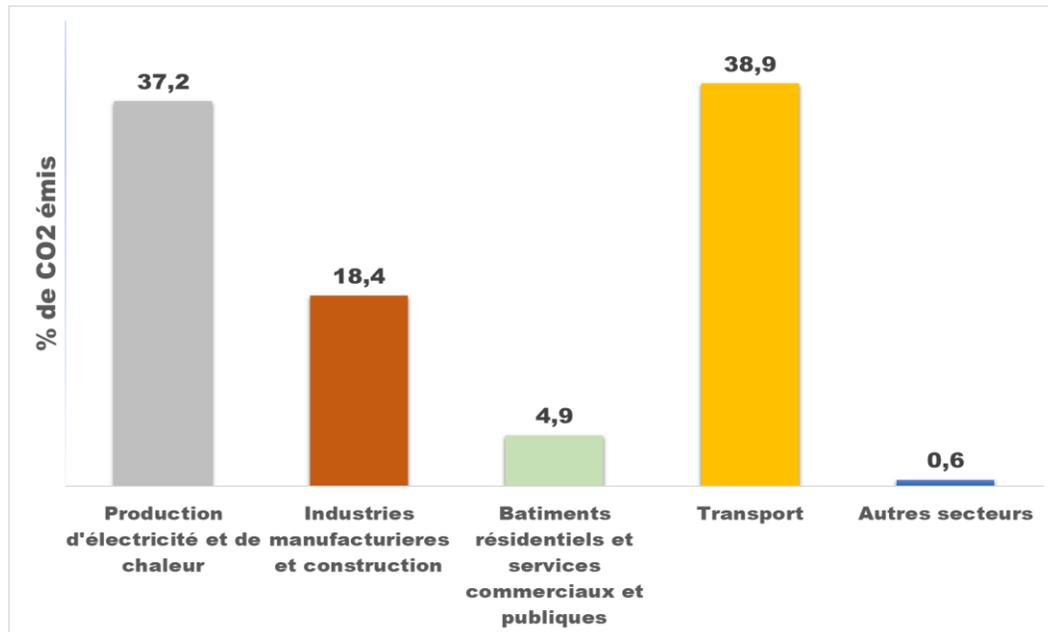
<sup>27</sup> "La production d'électricité et de chaleur" contient les émissions des principaux producteurs d'électricité et des autoproducteurs d'électricité et / ou de chaleur.

"Bâtiments résidentiels" contiennent les émissions issues de la consommation de combustibles des ménages.

est celle qui est conventionnellement utilisée pour ventiler les émissions au niveau sectoriel. Elle présente la contribution de chaque secteur dans les émissions totales de CO2 en 2014. Au Sénégal, le secteur du transport est le plus émetteur avec une contribution de 38,9% aux émissions totales. Il est talonné par le secteur de l'électricité (37,2%) qui est suivi à son tour par les industries manufacturières qui contribuent à hauteur de 18,4%.

La non prise en compte de la biomasse dans les émissions du CO2 vient en explication au fait que la contribution dans la pollution du secteur résidentiel est faible comparativement au autres secteurs. Ce phénomène peut se comprendre en analysant la structure de consommation dudit secteur. Si l'on s'en réfère aux chiffres de l'IAE (2018), plus de 81,0% de la consommation en énergie de ce secteur est composée de la biomasse (charbon de bois, bois de chauffe). Les produits pétroliers (pétrole lampant, gaz à pétrole liquéfié...) et le l'électricité qui constituent le restant ont comme parts respectives de 10,9% et 7,3%.

Figure 7: Répartition des émissions de CO2 au niveau sectoriel



Source: Auteurs, à partir des données de World Development Indicators.

En somme, il convient de retenir que:

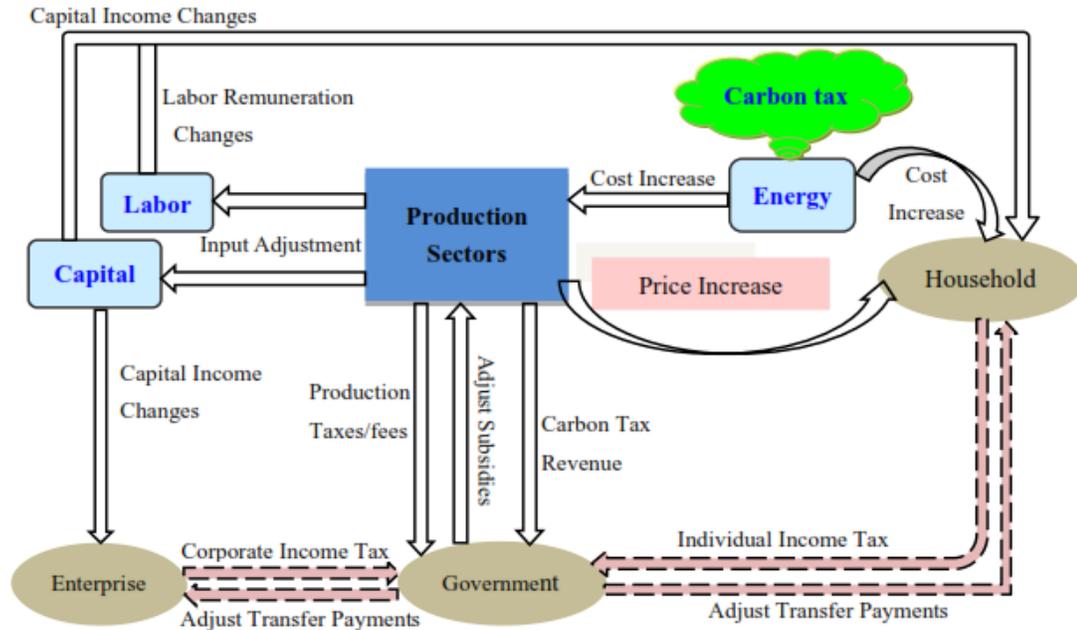
- la dynamique des émissions de GES dans le monde est grandement guidée par celle du CO2, donc il est possible d'observer la tendance globale des GES à partir de celle du CO2;
- au Sénégal, l'essentiel des émissions est dû à la consommation des combustibles fossiles des branches productives (s' il est fait abstraction des émissions issus de la biomasse);
- l'électricité et le transport dépendant fortement des énergies fossiles et ont une grande part de responsabilités dans la pollution du pays.

Une fois que le profil des émissions de GES du pays est dressé, il conviendra dans la suite d'analyser les canaux de transmissions de la taxe carbone.

### 3.2. Les canaux de transmission de la taxe carbone

Il sera ici question d'analyser la manière dont la taxe carbone affecte chaque catégorie d'agents économiques sur la base des processus de distribution primaire<sup>28</sup> et de redistribution du revenu national. Le graphique 8<sup>29</sup> en donne une illustration.

Figure 8: Canaux de transmission du mécanisme de la taxe carbone



Source: Quian et al. (2016).

Il en ressort que la taxation du carbone entraînera directement une hausse des prix de l'énergie ce qui engendrera par suite une augmentation du coût de l'énergie des branches d'activité. Ces branches pourraient réagir à une telle augmentation des coûts en ajustant le niveau de leurs intrants et de leur production. L'ajustement des intrants des branches inclut les intrants d'autres secteurs (intrants non énergétiques) ainsi que les facteurs travail et capital. Les modifications apportées à leurs outputs affecteront les revenus et les taxes associées. Les recettes de la taxe sur le carbone peuvent impacter différemment le revenu du gouvernement; soit elles augmenteront le niveau de celui-ci ou, le laisseraient neutre dans un contexte de redistribution au profit du contribuable.

<sup>28</sup> La distribution primaire du revenu décrit la manière dont la valeur générée par le processus de production est répartie entre le travail, le capital et le gouvernement sous forme de salaires et traitements (rémunération du travail), excédent d'exploitation / revenus mixtes (revenu du capital) et impôts sur la production, à savoir la répartition du revenu national<sup>2828</sup> La redistribution du revenu fait référence aux transferts réguliers entre institutions / secteurs via les taxes, les dépenses publiques et le système de sécurité sociale, etc.. entre les ménages, les entreprises et le gouvernement.

<sup>29</sup> Les lignes pleines indiquent les effets transmis dans la distribution primaire des revenus et les lignes pointillées représentent celles de la redistribution des revenus.

Pour les entreprises, les élasticités-prix de leurs produits détermineront dans une large mesure si elles peuvent facilement transférer leur charge fiscale aux consommateurs ou non. Les secteurs produisant des produits à plus haute élasticité-prix seraient plus contraint à absorber le fardeau fiscal; en attendant, ils risquent de connaître une baisse des ventes, ce qui finira par entraîner une perte de leurs profit.

Pour les consommateurs, ils supportent non seulement les charges fiscales directes et indirectes dues à la hausse des prix de l'énergie et d'autres biens et services, mais, sont également affectés par les modifications de leurs revenus du travail et du capital causées par la taxe. Ce qui constitue donc un effet complexe à la fois au niveau des revenus et des dépenses.

Étant donné le rôle fondamental de l'énergie dans une économie, les effets d'une taxe sur le carbone se répercuteront éventuellement sur toute l'économie, avec des résultats probablement surprenants (Liang et Wei (2012) cité par Qian (2016)). La réduction des activités en entreprise sur une longue période, peut apporter des avantages à long terme car la taxation du carbone peut pousser les firmes à réduire leur consommation d'énergie et les coûts associés par le biais d'une innovation et d'une installation de technologies à faibles émissions de carbone, permettant ainsi à l'entreprise de devenir plus compétitive sur le marché (Shakya et al. (2012) cité par Qian (2016)). Pour les ménages, les activités d'atténuation du carbone peuvent améliorer la qualité de l'environnement et réduire les effets néfastes du changement climatique. Ce qui peut donc apporter des avantages environnementaux à long terme.

### **3.3. Simulation et interprétation des résultats**

Dans cette section seront présentés et interprétés les résultats des différentes simulations conçues à partir du logiciel GAMS. Deux options sont à la base des politiques mises en œuvre à ce niveau:

- absence de neutralité des recettes: le gouvernement continue à dépenser les recettes de la taxe sur le carbone de manière à maintenir les mêmes proportions de ses dépenses passées, c'est-à-dire que les mêmes parts qu'auparavant vont aux dépenses publiques et aux transferts aux consommateurs;
- neutralité partielle des recettes: une portion(50%) des recettes de la taxe est utilisée pour financer les investissements publics en infrastructures.

Il serait important de rappeler que l'une des hypothèses phares de ce MEGC est que l'économie évolue dans le temps sous l'effet de la croissance de la population, de l'accumulation du capital et de l'ajustement d'autres variables exogènes. Les anticipations des agents économiques sont myopes. Les chocs se produisent à partir de la deuxième année (2019)<sup>30</sup>, et les résultats sont observés sur 13 ans (de 2018 à 2030) afin d'évaluer les effets à court, moyen et long terme de la mise en place de la politique<sup>31</sup>. Une attention particulière est portée sur les années 2020, 2025, et 2030 parce qu'elles correspondent à des dates marquantes pour l'économie sénégalaise. Ce sont

---

<sup>30</sup> Les chocs s'appliquent aussi aux années consécutives à 2019 du fait de la dynamique de la taxe carbone.

<sup>31</sup> Pour ce qui concerne les variables réelles, l'année de base considérée est celle de 2018

des dates pour lesquelles l'État Sénégalais doit atteindre des objectifs d'atténuation, notamment ceux indiqués au niveau de la contribution prévue déterminée. En l'occurrence sous l'option inconditionnelle, les réductions des émissions à ces dates respectives sont de 3%, 4% et 5%.

Concernant le choix du niveau de la taxe carbone, l'approche adoptée est celle de l'analyse comparative. Compte tenu du fait que cette étude est la première du genre au Sénégal, il serait intéressant d'utiliser le même niveau de taxe que celui de l'Afrique du Sud (dans le cadre des études ex-anté mises en œuvre) qui a été le premier pays africain à s'engager sur la voie de la mise en place d'une taxe carbone.

Le taux de la taxe est fixé à 30\$/tCO<sub>2</sub>, ainsi il faudra choisir une trajectoire d'atteinte de ce taux. Pour ce faire il est donc procédé selon l'approche d'Alton et al. (2014) et celle-ci consiste à démarrer par un taux de 3\$/tCO<sub>2</sub> pour ensuite le faire progresser jusqu'au taux objectif de 30\$/tCO<sub>2</sub> en 2030.

La trajectoire de la taxe déterminera celle de la baisse des émissions. Elle est arbitraire et dépend de la façon dont le Sénégal voudrait voir ses émissions baisser au cours du temps. Dans le cadre de cette modélisation, une progression à pas constant est choisie.

### **3.3.1. Analyse des impacts d'une taxe domestique**

Cette sous-section présente le scénario de la mise en place d'une taxe domestique de 30\$/tCO<sub>2</sub> (ou schéma de taxation carbone de base<sup>32</sup>). Le tableau suivant donne la dynamique de l'économie suivant ce schéma de taxation. Les résultats sont pris en variation par rapport à la situation de référence.

La mise en place de la taxe carbone a des répercussions sur le comportement des ménages, des producteurs, des firmes et sur la plupart des agrégats macroéconomiques. Il apparaît que l'économie connaîtra une légère croissance couplée à une baisse significative du niveau des émissions de GES.

En moyenne, la variation des émissions par rapport à la situation de référence s'établirait à -4,90% de 2019 à 2030. La taxe carbone de 30\$/tCO<sub>2</sub> devrait permettre l'atteinte des objectifs d'atténuation à l'horizon 2030 avec une baisse de 8,36% contre un objectif fixé à 5%. Néanmoins elle ne permettrait pas l'atteinte de l'objectif intermédiaire à l'horizon 2020. En effet, la trajectoire choisie pour la taxe n'assurerait pour cette période une baisse des émissions d'au plus 1,82% contre une cible fixée à 3%.

Avec l'introduction de la taxe, la dynamique de la valeur ajoutée (VA) au niveau sectorielle laisse apparaître des résultats assez mitigés. La VA du secteur du raffinage varierait de -10,11% en moyenne entre 2019 et 2030. Cette baisse importante de la VA s'explique par la hausse des coûts liés à la production du secteur compte tenu de la teneur en carbone des biens produits. Cette baisse qui serait enregistrée du côté de la VA vient en explication à la contraction de la demande en produits miniers, qui enregistrerait en 2030 une baisse de près de 7,0%. En effet, la branche du

---

<sup>32</sup> Est dit schéma de taxation de base le schéma qui constituera une référence par rapport aux politiques de recyclage des recettes. Ces dernières seront comparées à celle-ci afin de quantifier les plus-values des schémas de recyclage.

raffinage est fortement dépendante de produits miniers en l'occurrence du pétrole brut (importé). Dans cette même dynamique, il serait noté une baisse des exportations du secteur qui s'élèverait en moyenne de 14,35% comparativement à la situation de référence sur la même période.

Tableau 2: Variation en pourcentage de quelques variables de l'économie selon le schéma de taxation de base

<b>Taxe domestique de 30\$/tCO2</b>			
<b>Horizon</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>
Émissions de GES	-1,81	-5,29	-8,36
PIB réel	0,11	0,35	0,6
Investissement	1,03	2,98	4,67
<b>Valeur ajoutée</b>			
Branche agricole	-0,01	0,08	0,27
Branche des extractives	-0,11	-0,22	-0,18
Branche de l'agroalimentaire	0	0,11	0,35
Raffinage/cokéfaction	-3,7	-10,85	-17,16
Industries chimiques	-0,05	-0,04	0,08
Electricité-Gaz-Eau	-0,32	-0,99	-1,61
Autres produits industriels	-0,01	0,1	0,34
Matériels & construction	0,58	1,88	3,2
Autres services	0	0,1	0,3
<b>Revenus des agents</b>			
Gouvernement	0,94	2,74	4,3
Ménages ruraux	-0,03	-0,13	-0,29
Ménages urbains	-0,11	-0,34	-0,61
Firmes	-0,07	-0,23	-0,41
<b>Bien-être</b>			
Ménages ruraux	-2,81	-2,43	-2,33
Ménages urbains	-5,33	-4,46	-4,16
<b>Demande domestique</b>			
Branche agricole	-0,01	0,06	0,22
Branche des extractives	-1,55	-4,47	-6,97
Branche de l'agroalimentaire	-0,04	-0,03	0,09
Raffinage/cokéfaction	-3,27	-9,69	-15,45
Industrie chimique	-0,22	-0,52	-0,63
Electricité-Gaz-Eau	-0,32	-0,99	-1,61
Autres produits industriels	0,01	0,17	0,45
Matériels & construction	0,62	1,97	3,33
Autres services	0	0,09	0,27
IPC	0,07	0,13	0,12

Source: Auteurs, à partir des sorties de GAMS.

Les coûts de production ont été répercutés au prix d'acquisition des produits de la branche du raffinage; en effet, il a varié en moyenne de 5,08% sur la période. La baisse de la demande domestique en est une conséquence; cependant, l'envergure de cette diminution s'explique par le fait que les consommateurs auraient substitué la production locale au profit des substituts importés. En effet, le volume des importations a varié en moyenne de 5,88% sur la même période considérée comparativement à la situation de référence.

Cet état de fait impacterait les secteurs intensifs en combustibles secondaires comme l'électricité (baisse de la VA de 1,61% en 2030) et les industries chimiques dont la VA (resp les exportations) varierait en moyenne de la -0,02% (resp -0,01%) sur l'horizon 2019-2030.

La demande domestique augmenterait pour la plupart des biens non concernés par la taxe et plus précisément pour les produits du secteur des "matériels & construction" (les biens d'équipement et de transport, la construction, les produits métalliques) et les produits des autres industries (caoutchouc, cuir..). Cela serait due à la dynamique de l'investissement qui s'inscrirait en hausse, soit une variation moyenne de 2,73% (de 2019 à 2030) par rapport à la situation de référence. Cette dynamique de l'investissement stimulerait la demande de ces types de biens (qui dans la plupart du temps interviennent comme intrants intermédiaires). L'investissement, en tant que composante importante de la demande intérieure, aurait pour effet d'accroître le niveau du produit intérieur brut (réel), qui à son tour varierait en moyenne de 0,33% sur la même période (2019-2030). Par ailleurs, il convient également de noter que les exportations s'inscriraient en hausse pour la majeure partie des biens, ce qui aurait également contribué à la trajectoire suivie par PIB réel. Cette hausse du produit intérieur brut s'explique aussi par le fait que l'économie Sénégalaise est essentiellement dominée par le tertiaire; malgré la contraction de quelques activités du secteur secondaire, la dynamique de la VA des autres secteurs (primaire et tertiaire), celle des investissements et des exportations semblent l'emporter sur ces derniers.

Néanmoins, le fait que certaines branches aient répercutés les coûts supplémentaires aux prix des outputs aurait pour effet d'enclencher des tendances inflationnistes matérialisées par la hausse du niveau général des prix (IPC). En 2030, celui-ci augmenterait de 0,12% par rapport à la situation de référence.

La taxe carbone aurait également pour effet (après ajustement) de réduire le revenu des ménages de même que celui des entreprises. En effet, comme le montre la figure illustrant les mécanismes de transmission de la taxe carbone, non seulement les ménages feront face à des prix plus élevés mais, verront éventuellement leur revenu du capital s'amenuiser et cela dans un contexte où la rémunération du facteur travail pourrait lui aussi s'inscrire en baisse par rapport à la situation de référence<sup>33</sup>.

Le graphique 9 donne la dynamique de la rémunération du capital au niveau sectoriel.

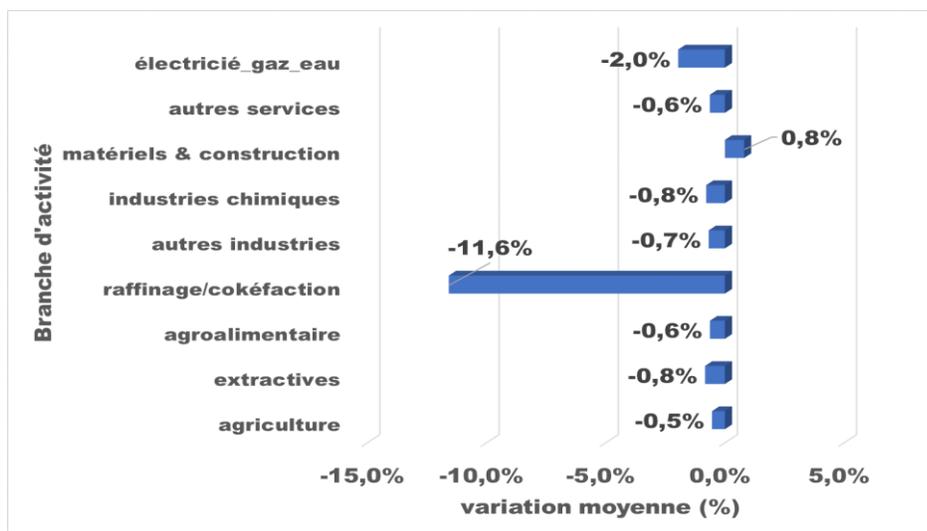
Il en ressort que pratiquement tous les détenteurs du capital (les ménages et les firmes) risqueraient de voir leur revenu diminuer comparativement à la situation de référence. En effet, les

---

<sup>33</sup> il ressort de 19 que la rémunération du facteur travail composite s'inscrirait en baisse par rapport à la situation de référence.

secteurs qui rémunèrent le capital observeraient une baisse de celle-ci et ce phénomène semble être d'autant plus important que le secteur est intensif en énergie (raffinage, électricité).

Figure 9: Variation du rendement du capital au niveau sectoriel de 2019 à 2030 par rapport à la situation de référence



Source: Auteurs, à partir des sorties de GAMS.

L'effet final de la taxe sur le revenu du gouvernement est positif sur tout l'horizon de l'étude, car les projections montrent que celui-ci varierait en moyenne de 2,51% de 2019 à 2030. En effet, les pertes<sup>34</sup> en impôts distordants (taxes directes sur le revenu des ménages et des firmes) n'ont pas pu l'emporter sur les gains au niveau des autres impôts sur la production sous l'impulsion du revenu de la taxe et des autres sources de revenu du gouvernement en l'occurrence les impôts sur les produits et les importations.

Le tableau suivant donne les variations moyennes des différents composants du revenu du gouvernement sur la période 2019-2030. Il en ressort que les impôts sur la production et les importations (autres impôts sur la production et impôts sur les produits et les importations) ont conditionné la dynamique du revenu du gouvernement dans une large mesure. Non seulement ces derniers contribuent fortement au revenu de cet agent<sup>35</sup> mais aussi, la baisse qui serait notée au niveau des autres sources de revenu (impôts sur les revenus, revenu du capital et le revenu des transferts) ne suffirait pas pour contrebalancer leur hausse.

Tableau 3: Variations moyennes des différents composants du revenu du gouvernement

Revenu des transferts du gvt	Autres impôts sur la production	Impôts sur les produits et les importations	Impôts sur le revenu des ménages	Impôts sur le revenu des firmes	Revenu du capital
-0,05%	13,10%	0,76%	-0,27%	-0,37%	-0,37%

Source: Auteurs, à partir des sorties de GAMS.

<sup>34</sup> En cas de baisse du revenu des firmes et les ménages si toute chose étant égale par ailleurs, cela entrainerait une diminution du revenu du gouvernement du moins la part du revenu de l'État issue des impôts sur le revenu de ces agents.

<sup>35</sup> Voir II.2.2.3

Finalement, pour ce qui est du bien-être des ménages, les projections montrent qu'il se dégraderait avec une ampleur de moins en moins importante au cours du temps, par rapport à la situation de référence. Le phénomène semble plus prononcé au niveau des ménages urbains (4,71% en moyenne contre 2,51% pour les ménages ruraux). Le fait que la perte soit plus observée au niveau des ménages urbains est due au fait que non seulement ils sont en général plus dépendants des produits taxés (produits énergétiques), mais aussi du revenu du capital que leurs homologues des zones rurales.

Dans la suite, le scénario de la taxe carbone de base sera couplée à des options de recyclage des recettes. L'intérêt de cette opération est d'évaluer leur (les méthodes de recyclage) capacité à amortir les chocs liés à la politique de taxation et à générer un double dividende.

### **3.3.2. Analyse des options de recyclage des recettes de la taxe carbone**

Dans cette partie, on impose à ce que chaque année, la moitié<sup>36</sup> des recettes de la taxe carbone soit utilisée pour le financement des investissements publics dans le secteur de l'énergie (électricité...) et des infrastructures de transport. L'hypothèse simple faite à ce niveau est que l'État investit davantage dans les secteurs d'appui (formation...) à la production pour soutenir le fardeau de la taxe supporté par les branches d'activité. Ce soutien pourrait permettre aux branches de produire davantage à niveau d'intrants inchangé.

Le tableau 7 décrit l'économie sénégalaise à travers deux scénarios de recyclage. Dans chacun des cas, 50% des recettes de la taxe sont utilisées soit pour financer les investissements dans les infrastructures de transport (le scénario IIT), ou dans le secteur de l'énergie (le scénario IIE).

Les scénarios de recyclage présentent des résultats plus avantageux que le scénario de taxation carbone de base du point de vue économique. Cependant, le schéma IIT aurait des effets beaucoup plus importants sur l'environnement que le schéma IIE qui, à son tour, présenterait un impact plus marqué sur les variables économiques.

---

<sup>36</sup> A l'image d'un des scénarios implémentés par Moutaouakkil (2018) qui a tenté d'analyser les effets sur l'économie Canadienne des politiques de recyclage du revenu de la taxe carbone.

Tableau 4: Variation en pourcentage de quelques variables de l'économie selon les deux scénarios de recyclage

Investissements en infrastructures de transports (IIT)				Investissements en infrastructures énergétiques (IIE)		
2020	2025	2030	Horizon	2020	2025	2030
-1,65	-4,8	-7,55	Émissions de GES	-1,55	-4,55	-6,96
0,27	0,9	1,49	PIB réel	0,41	1,4	2,37
0,05	3,07	4,84	Investissement	1,09	3,23	5,12
<b>Valeur ajoutée</b>						
0,24	0,9	1,64	Branche agricole	0,66	2,4	4,25
0,43	1,63	2,96	Branche des extractives	0,13	0,62	1,28
0,23	0,89	1,64	Agroalimentaire	0,56	2,07	3,73
-3,56	-10,44	-16,53	Raffinage/cokéfaction	-3,49	-10,17	-16,09
0,15	0,58	1,09	Industrie chimique	0,43	1,57	2,78
-0,16	-0,49	-0,81	Electricité-Gaz-Eau	0,02	0,11	0,18
0,23	0,92	1,73	Autres produits industriels	0,51	1,89	3,39
0,9	2,93	4,95	Matériels & construction	1,02	3,39	5,79
0,26	0,95	1,7	Autres services	0,37	1,39	2,5
<b>Revenus des agents</b>						
0,95	2,78	4,38	Gouvernement	0,97	2,85	4,52
-0,12	-0,42	-0,76	Ménages ruraux	-0,18	-0,65	-1,15
-0,14	-0,46	-0,79	Ménages urbains	-0,15	-0,48	-0,83
-0,14	-0,46	-0,78	Firmes	-0,18	-0,58	-0,99
<b>Bien-être</b>						
-0,85	-0,42	-0,27	Ménages ruraux	2	2,6	2,94
-0,89	-0,06	0,29	Ménages urbains	2,69	3,79	4,43
<b>Demande domestique</b>						
0,22	0,84	1,53	Branche agricole	0,62	2,25	3,97
-1,01	-2,68	-4,01	Branche des extractives	-1,19	-3,26	-4,93
0,16	0,65	1,22	Agroalimentaire	0,44	1,64	2,96
-3,13	-9,25	-14,77	Raffinage/cokéfaction	-3,05	-8,96	-14,28
0,07	0,44	0,95	Industrie chimique	0,41	1,64	3,01
-0,16	-0,49	-0,81	Electricité-Gaz-Eau	0,02	0,11	0,18
0,27	1,06	1,94	Autres produits industriels	0,54	1,97	3,54
0,92	3	5,05	Matériels & construction	1,05	3,46	5,9
0,25	0,91	1,64	Autres services	0,36	1,35	2,43
-0,11	-0,43	-0,8	IPC	-0,24	-0,88	-1,57

Source: Auteurs, à partir des sorties de GAMS.

Du côté des impacts environnementaux, les baisses des émissions seraient en moyenne de 4,44%, 4,11% respectivement selon les schémas IIT et IIE sur la période de 2019 à 2030. Par ailleurs, les objectifs d'atténuation pour l'horizon 2020 ne seraient pas atteints. Néanmoins pour les autres horizons (2025 et 2030), les projections montrent qu'ils le seraient. En effet, pour 2025 (resp 2030) la baisse des émissions de GES serait de 4,80% (resp 7,55%) avec le schéma IIT et 4,55% (resp 6,96%) avec le schéma IIE. Le dividende environnemental<sup>37</sup> serait relativement faible comparé à celui que l'on obtiendrait dans le schéma sans recyclage. Cette baisse de performance sembleraient être liée à la dynamique des prix <sup>38</sup> qui, selon les projections, s'inscriraient en baisse comparativement à la situation de référence. Ce qui aurait ainsi encouragé les consommateurs à polluer plus que dans le scénario précédent où les prix auraient augmenté. Ce regain de pollution peut être observé au niveau de la demande domestique en produits pétroliers qui en 2030 baisserait de 14,77%, 14,28% respectivement pour les schémas IIT et IIE contre une baisse de 15,45% en cas de hausse générale des prix en l'occurrence le premier scénario.

A la suite de l'imposition de la taxe mais surtout, suite à l'effet de l'investissement public, on remarque que la demande pour les biens et services augmenterait pour pratiquement tous les biens cela s'explique par la baisse potentielle des prix. Cette baisse des prix serait générée par le boom au niveau de l'offre des branches d'activité qui à son tour est lié au gain de productivité des secteurs bénéficiant des externalités positives de la production d'infrastructures. En fait, une lecture globale de la valeur ajoutée des secteurs laisse apparaître que celle-ci augmenterait par rapport à la situation de référence. Concomitamment à ce choc sur l'offre, pratiquement les exportations de tous les biens s'inscriraient en hausse comparativement à la situation de référence si l'on s'en réfère au schéma IIE en particulier (voir tableau 19 de l'annexe B).

Par ailleurs, il convient de noter que la branche matériels & construction (équipements de transport, machines, métallurgie...) est celle qui enregistrerait la plus forte création de VA; celle-ci devrait s'établir à 5,79% (resp 4,95%) dans le schéma IIE (resp IIT) en 2030. Compte tenu de la hausse des investissements, les produits de "matériels & construction" et des "autres industries" intervenant en général comme des intrants dans la production des infrastructures, verraient leur demande s'accroître comparativement à la situation de référence.

Concernant les secteurs les plus affectés par la taxe, l'on constate que leur situation s'est améliorée grâce aux politiques de recyclage (néanmoins cette amélioration a été plus ou moins marginale pour la branche du raffinage). La VA de la branche raffinage et cokéfaction s'inscrirait sur une trajectoire en baisse en moyenne de -9,48%, -9,73% respectivement selon les schémas IIE et IIT (de 2019 à 2030). En ce qui concerne l'électricité, on note qu'avec les politiques de recyclage, sa VA varierait en moyenne et comparativement à la situation de référence de 0,1% (resp -0,46%) pour le schéma IIE (resp IIT) contre -0,91% dans le schéma sans recyclage.

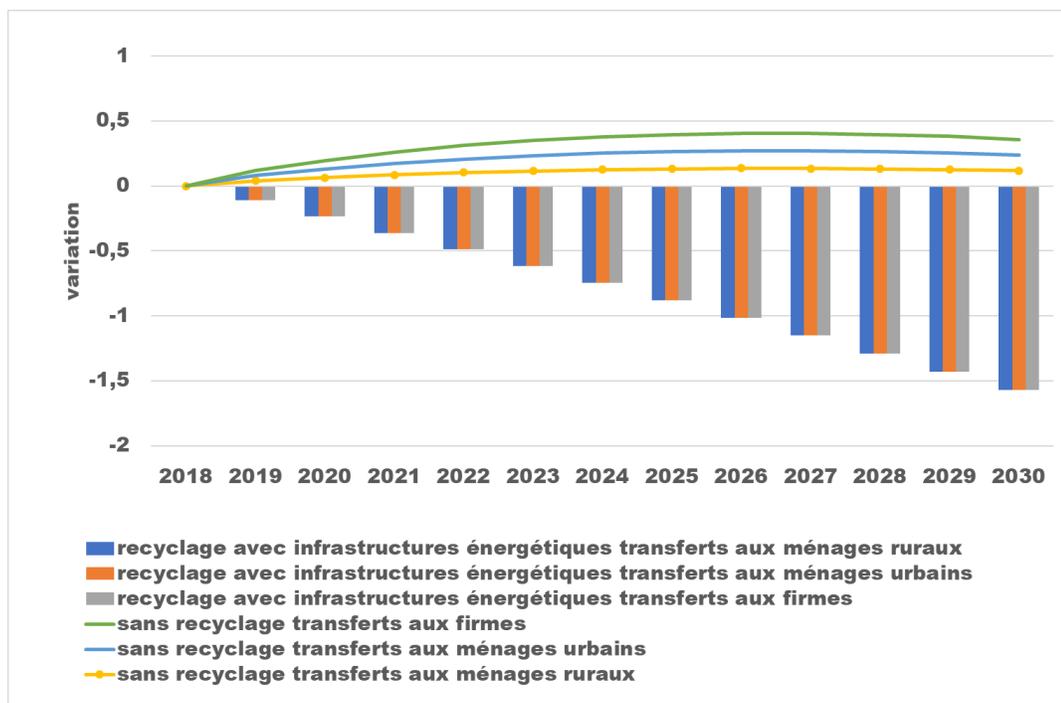
---

<sup>37</sup> Il est aussi appelé le premier « dividende » et est considéré comme la réduction des dommages de pollution. Il découle directement de l'effet incitatif du signal-prix sur les comportements.

<sup>38</sup> L'indice des prix à la consommation baisse en moyenne et par rapport à la situation de référence de 0,82%, 0,41% respectivement pour les schémas IIE et IIT.

L'introduction de la taxe devrait faire baisser le revenu des ménages. Et c'est ce qui se produirait même avec le recyclage des recettes; il apparaît que l'accroissement de la productivité des ménages ne l'emporte pas sur les effets négatifs de la taxe carbone. On constate que le revenu des ménages urbains en 2030, connaîtrait une baisse de 1,15%, 0,76% dans les schémas respectifs IIE et IIT. Cette baisse semble plus prononcée comparé au scénario précédent, ce qui invite à croire que le fait d'avoir procédé à une réallocation d'une partie des recettes à des fins d'investissement aurait réduit les transferts que ces agents devaient percevoir du gouvernement (voir le graphique 10 qui montre la dynamique des transferts du gouvernement aux agents selon le scénario de la taxe carbone de base et celui avec recyclage des recettes sous l'option d'investissement dans le secteur de l'énergie). En effet, si toutes choses égales par ailleurs, une baisse des ressources de l'État serait susceptible d'entraîner la réduction des transferts au profit des autres agents.

Figure 10: Variation des transferts du gouvernement aux agents de 2018 à 2030 par rapport à la situation de référence



Source: Auteurs, à partir des sorties de GAMS.

En termes de bien-être, les schémas de recyclage ont eu des retombées positives (comparée à la situation sans recyclage). La variation équivalente montre que le schéma IIE est plus avantageux aux ménages car leur garantirait un gain en bien-être avec une hausse de près de 3,0% en 2030. D'un autre côté, le schéma IIT présente un faible impact sur le bien être comparativement à la situation de base. En effet de 2019 à 2030, les variations moyennes par rapport à la référence s'établiraient à -0,54%, -0,29% respectivement pour les ménages urbains et ruraux.

S'agissant maintenant de la question du double dividende, le gain en bien-être qui découle du couplage de la politique de taxation de base au recyclage (IIE) pourrait être considéré comme tel. En effet, la mise en place de cette politique fiscale environnementale (avec absence de neutralité

budgétaire au profit du gouvernement) permettrait de respecter la progressivité du système fiscal ce qui rejoint donc la perception de Metcalf (1999) cité par Chiroleu-Assouline (2001) du dividende redistributif.

De façon générale, il est ressorti des résultats que la mise en place d'une politique de taxation carbone n'aurait pas un impact négatif sur l'activité (le PIB réel). Cela pourrait s'expliquer par la structure actuelle de l'économie (pas encore pays producteur de pétrole et essentiellement dominée par le tertiaire et l'agriculture qui constituent plus de 75% du produit intérieur brut). A cela s'ajoute le fait que le profil du pays se distingue de celui des États qui jusqu'alors ont mis en place ce type de politique étant donné que la plupart d'entre eux sont des producteurs de pétrole et/ou de gaz.

### **Conclusion et recommandations**

Le contexte économique mondial, marqué par la menace grandissante des changements climatiques a motivé les États à prendre leurs responsabilités et à travailler de concert pour faire face aux fléaux qui en découlent. Le Sénégal a manifesté son engagement dans cette lutte en se fixant des objectifs d'atténuation à l'image de bons nombres de pays dans le monde.

Étant donné que la pollution atmosphérique se fait en général par le biais de l'usage des combustibles fossiles (au travers de leur combustion), donc une hausse de leurs prix serait susceptible de faire transiter les consommateurs vers d'autres sources moins polluantes. Il existe peu de données empiriques sur la pertinence de la politique fiscale sur le carbone pour réduire les émissions de carbone dans un pays, comme le Sénégal. Or ce genre d'étude est essentiel dans la transition vers une économie plus verte. Pour mieux appréhender les enjeux d'une telle politique, cette étude s'est donnée comme objectif d'évaluer les impacts économiques de la mise en place de la taxe carbone (de 30\$/tCO<sub>2</sub>) ainsi que la manière dont un tel choc influencerait le bien-être des ménages et l'environnement. Pour y parvenir, l'utilisation d'un modèle d'équilibre général calculable a été de mise. Cet outil a d'abord permis de reproduire l'économie Sénégalaise et le comportement de ses principaux agents économiques dans une perspective macroéconomique; ensuite, de procéder à des simulations de politiques dont les effets sont observés en variation par rapport à la situation de référence.

Les résultats de la simulation de la politique stipulant l'introduction d'une taxe carbone domestique d'une valeur de 30\$/tCO<sub>2</sub> suggèrent d'abord que les émissions baisseraient en moyenne de 4,90% entre 2019 et 2030 (par rapport à la situation de référence). Ensuite, à l'horizon 2030, les objectifs d'atténuation seraient atteints (avec une baisse de 8,36% des émissions de GES). Toutefois l'objectif intermédiaire (pour 2020) ne le serait pas compte tenu de la trajectoire d'évolution choisie pour la taxe carbone. Dans ce contexte, l'économie va s'inscrire dans une dynamique de croissance (assez faible; une hausse du PIB d'au plus 0,6% sur tout l'horizon considéré). Celle-ci sera impulsée par les effets positifs notés sur l'investissement, les exportations, le revenu du gouvernement et la production de certaines branches productives (matériels & construction, autres industries, autres services). Par ailleurs, ce contexte laissera apparaître une dégradation du bien-être des ménages qui feront face avec le temps à des coûts plus élevés des

biens intensifs en énergie, impulsés par l'effet prix de la taxe qui a conditionné la hausse du niveau général des prix.

Les politiques de recyclages des recettes de la taxe ont en général pour but de redynamiser l'économie et de rendre la taxe plus acceptable aux yeux du contribuable. Le recyclage a consisté à allouer une partie (50%) des recettes de la taxe au financement des investissements publics dans le secteur de l'énergie et des infrastructures de transport. Avant tout d'abord, il convient de noter qu'avec les politiques de recyclage, le dividende environnemental s'inscrirait en baisse comparativement au premier scénario. Les résultats ont montré que: les recettes de la taxe, lorsqu'elles sont utilisées à des fins d'investissement dans le secteur de l'énergie <sup>39</sup> pouvaient améliorer le bien être des ménages<sup>40</sup>, amortir la baisse tendancielle du niveau de production des secteurs les plus affectés (raffinage/cokéfaction et électricité), stimuler les investissements privés et le produit intérieur brut (qui croîtrait de 2,37% en 2030).

A la lumière de ces différents effets rendant compte de la complexité des mécanismes de transmission de la mise en place d'une taxe carbone, les recommandations suivantes ont été formulées:

- il est plus avantageux pour le Sénégal dans le cadre de la mise en place d'une politique de recyclage, d'opter pour celle consistant à investir dans le secteur de l'énergie (électricité...);
- un plus grand développement des énergies renouvelables est un préalable à la mise en place d'une quelconque politique de taxation carbone. En effet, l'objectif recherché à travers une pareille initiative (la mise en place la taxe carbone) est d'amorcer un changement de comportement des populations sur l'usage des énergies fossiles. Ainsi, une plus grande offre en énergies propres encouragerait d'avantage les agents économiques à transiter vers ces dernières. Par ailleurs, cet aspect est d'une importance capitale car il faudrait que les agents aient la possibilité de choisir d'autres sources d'énergies (avec l'instauration de la taxe) et en particulier sur les énergies propres qui devront donc être disponible sur le marché en quantité suffisante.

La modélisation en équilibre général mise en place pour le Sénégal n'est pas exempte de limites. D'abord, l'estimation des émissions de GES pourrait être plus précise si on utilisait des intensités en carbone des produits estimés pour le Sénégal au lieu de se servir de celles estimées pour l'Afrique du Sud. Egalement, le modèle ne prend en compte que les émissions de dioxyde de carbone, les autres GES (tels que le méthane, l'hexafluorure de soufre, le tri-fluorure d'azote, l'hydro-fluoro carbone...) sont exclus de la mesure. Ce qui est réducteurs sachant que ces autres GES ont un pouvoir de réchauffement global bien au dessus de celui du CO<sub>2</sub>. Une MCS environnementale ou énergétique aurait été plus appropriée à cette étude, car aurait permis de mieux faire ressortir le changement de comportement des agents soumis à la taxe. Concernant le

---

<sup>39</sup> la simulation a aussi montré que l'investissement dans le secteur de l'énergie présenterait plus d'avantages (économiques) que la production d'infrastructures de transport. Cependant le dividende environnemental associé aux infrastructures de transport serait le plus élevé.

<sup>40</sup> Ce qui se soldera par un second dit dividende redistributif

modèle, il est important de soulever quelques uns de ses manquements théoriques. Il s'agit en l'occurrence la règle de l'élasticité-prix fini et la substituabilité imparfaite entre la production domestique et les produits importés. De plus la procédure du calibrage présente une limite de taille car celle-ci se fait en empruntant des paramètres utilisés non seulement dans d'autres pays mais aussi, estimés à des dates assez reculées parfois.

## **Bibliographie**

1. ADEME (2018). ( Consulté le 05/12/18). L'atténuation et l'adaptation <https://www.ademe.fr/expertises/changement-climatique-energie/quoi-parle-t/lattenuation-ladaptation>.
2. AIE (2005). Manuel sur les statistiques de l'énergie, 75739 PARIS Cedex 15.
3. Alton T., Arndt C. et al (2014). Introducing carbon taxes in South Africa, *Applied Energy* volume 116 , pages 344–354.
4. Arndt C., Davies R., Thurlow J. (2013). Measuring the carbon intensity of The south african economy, *South African Journal of Economics* Vol. 81:3.
5. Avi-Yonah R-S., Uhlmann D-M.(2009). "Combating Global Climate Change: Why a Carbon Tax is a Better Response to Global Warming than Cap and Trade.". *Stan. Envtl. L. J.* 28, no. 1 : pages 3-50
6. Babatunde K., Begum R., Said F.(2017), Application of computable general equilibrium (CGE) to climate change mitigation policy: A systematic review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, volume 78 pages 61–71.
7. Banque Mondiale et Ecofys (2018): State and trends of carbon pricing 2018, World Bank, Washington, DC.
8. Baranzini A, Goldemberg J, Speck S.(2000) A future for carbon taxes. *Ecol Econ* volume 32, pages 395–412.
9. Benoit C. « Système de tarification du carbone au Canada », Mémoire de Maitrise en environnement et développement durable, sous la direction de Monsieur Jean-Francois Comeau, Canada, Université de Serbrooke, 2014 pages ?
10. Boyd R., Ibararán M. E (2002). Costs of compliance with the kyoto protocol: a developing country perspective *Energy Econ.* volume 24 pages 21–39
11. Calderon S. Alvarez A., Loboguerrero A. et al (2015). Achieving CO2 reductions in Colombia: Effects of carbon taxes and abatement targets, *Energy Economics*.
12. Chen Z., Nie P.(2016). Effects of carbon tax on social welfare: A case study of China, *Applied Energy* 183 (2016) 1607–1615
13. Chiroleu-Assouline M.(2001). Le double dividende: Les approches théoriques. *Revue Française d'Économie*, Association Française d'Économie, 16 (2), pp.119-147.
14. Chiroleu-Assouline M., Fodha M. (2011). Verdissement de la fiscalité, A qui profite le double dividende ? *Revue de l'OFCE*, volume 116, numéro 1 page 409-431.
15. Choi J-K., Bakshi B. R., Haab T. (2010). Effects of a carbon price in the U.S. on economic sectors, resource use, and emissions: An input–output approach, *Energy Policy* volume 38, pages 3527–3536.
16. Christiansen AC (2001). "Climate policy and dynamic efficiency gains A case study on Norwegian CO2-taxes and technological innovation in the petroleum sector." *Climate Policy* 1.4, pages 499-515.

17. Climate Analytics (2018a). État des lieux des connaissances scientifiques sur les changements climatiques pour les secteurs des ressources en eau, de l'agriculture et de la zone côtière.
18. Climate Analytics (2018b). Évaluation des références aux changements climatiques et de leur base scientifique dans les politiques et stratégies au Sénégal.
19. Cloutier, M., Cockburn, J. et Decaluwé, B. (2004), 'Éducation et pauvreté au vietnam : Une analyse en équilibre général calculable', Papier de recherche.
20. Commonwealth of Australia (2011). Strong growth, low pollution modelling a carbon price.
21. Décaluwé B, Cockburn J., Annabi N (2003). Formes fonctionnelles et Paramétrisation.
22. Délégation générale à la langue française et aux langues de France (2015). Vocabulaire du développement durable. 6, rue des pyramides, 75001 Paris.
23. Devarajan S., Go D-F, et al (2006). Tax policy to reduce Carbon Emissions in a distorted economy : Illustrations from South Africa CGE Model., The B.E. Journal of Economic Analysis & Policy, volume 11. Is 1 (Topics), Article 13.
24. DECC (2015). Troisième communication nationale du Sénégal.
25. Edi S. J., affiteau E.(2017). Les modèles macroéconomiques en usage dans les systèmes statistiques des pays membres d'Afristat : un état des lieux, stateco, numéro 111, p 31-41.
26. Ekins P.(1999). European environmental taxes and charges: recent experience, issues and trends. Ecol Econ volume 31 pages 39–62.
27. Freire-Gonzalez J.(2017). Environmental taxation and the double dividend hypothesis in cge modelling literature: a critical review, Journal of Policy Modeling <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2017.11.002>
28. Gainza R. (2017), "Investir dans l'économie verte : est-il un moyen d'atteindre les Objectifs de Développement Durable ? Une méta-analyse de l'expérience des huit pays africains".
29. Gaye A.T., Lo H. M., Djimbira S.S. et al.(2015), Sénégal: Revue du contexte socioéconomique, politique et environnemental, IED Afrique.
30. Goulder L., (1995a). Effect of carbon taxes in an economy with prior tax distortions: An intertemporal general equilibrium analysis. J. Environ. Econ. Manage. 29, pages 271-297.
31. Goulder L., (1995b). Environmental taxation and the double dividend: A reader's guide. Int. Tax Public. Finance 2 2 , 157-183.
32. Goulder L.(2013) Climate change policy's interactions with the tax system. Energy Econ;40 (Supplement 1):S3–S11.
33. Grandjean A., Jancovici J-M(2007). Le plein s'il vous plaît !: la solution au problème de l'énergie, Collection Points. Série Sciences Points. Sciences,Contemporary French Fiction, 185 pages.

34. Groupe Consultatif d'Experts (GCE). MANUEL DU SECTEUR DE L'ENERGIE : Combustion de Combustibles(2012)
35. Ibarrarán M. E., Boyd R., Moreno L. (2011) Costly commitments: climate change policy in Mexico *Lat. Am. Policy* volume 2 number 2 pages 22–33.
36. Ibarrarán M. E., Bassi A. M., Boyd R. (2015). Analyzing green growth: integrating models to assess green economy – methods and applications to Mexico. In M. Ruth (Ed.), *Handbook of Research methods and Applications in Environmental Studies* (pp. 375-395). Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited.
37. IEA (2017). CO2 EMISSIONS FROM FUEL COMBUSTION (2017 edition).
38. IEA (2018). *World Energy Balances* (2018 edition).
39. IPCC (2007): *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp
40. Joana C., Araceli O.(2017) Carbon tax effects on the poor: a SAM-based approach, *Environ. Res. Lett.* **12** 094021.
41. Kaul I., Grunberg I., Stern M. A., et al. (1999). Global public goods. *Global public goods*, 450.
42. Kallbekken S, Sælen H.(2011). Public acceptance for environmental taxes: selfinterest, environmental and distributional concerns. *Energy Policy* ;39:2966–73.
43. Lemelin, A., Savard, L. (2017). RÉFORME FISCALE: QUEL RÔLE POUR LES MODÈLES D'ÉQUILIBRE GÉNÉRAL CALCULABLE?. *L'Actualité Économique*, 93(3), 1-35.
44. Liang Q-M, Wang T, Xue M-M. Addressing the competitiveness effects of taxing carbon in China: domestic tax cuts versus border tax adjustments. *J Clean Prod* 2016;112:1568–81.
45. Lin B., Jia Z. (2018).The energy, environmental and economic impacts of carbon tax rate and taxation industry: A CGE based study in China, *Energy*, doi:10.1016/j.energy.2018.06.167.
46. Liu Y., Lu Y. (2015) The Economic impact of different carbon tax revenue recycling schemes in China: A model-based scenario analysis, *Applied Energy* volume 141, pages 96–105.
47. Mardones C., Baeza N.(2018). Economic and environmental effects of a CO2 tax in Latin American countries, *Energy Policy*, volume 114 pages 262–273.
48. MEDD(2015). Contribution prévue déterminée au niveau national.
49. MEDD (2016). Lettre de Politique du Secteur de l'environnement et du Développement Durable(LPSEDD) 2016-2020. Dakar.
50. Meng S., Siriwardana M., McNeill J. (2013). The Environmental and Economic Impact of the Carbon Tax in Australia, *Environ Resource Econ* volume 54, pages 313–332.
51. Mardones C., Flores B., (2017). Evaluation of a CO2 tax in Chile: emissions reduction or design problems? *Lat. Am. Res. Rev.* 52 (3), 334–343.

52. Meng S., Siriwardana M.(2017). ASSESSING THE ECONOMIC IMPACT OF TOURISM A Computable General Equilibrium Modelling Approach.

53. Métivier C., Butheel C., Postic S. (2018). Les comptes mondiaux du carbone en 2018, I4CE - Institute for Climate Economics, Paris.

54. Michaelowa A., Diagne M. et al (2018). Élaboration d'une étude d'opportunité sur la mise en place d'un instrument de tarification carbone au Sénégal dans le cadre de l'initiative « Instruments de Collaboration pour une Action Climatique Ambitieuses (CI-ACA) »

55. Moutaouakkil S.(2018). "Utilisation des revenus de la taxe carbone pour le financement de l'investissement public en infrastructures : une analyse en équilibre général", Mémoire de Maîtrise en science économie, sous la direction du Professeur Yazid Dissou, Canada, Université d'Ottawa.

56. Niu T., Yao X., Shao S. et al (2018). Environmental tax shocks and carbon emissions: An estimated DSGE model, Structural Change and Economic Dynamics.

57. Nordhaus W. D. (2007). To tax or not to tax: Alternative approaches to slowing global warming. Review of Environmental Economics and policy, 1(1), pages 26-44.

58. Orlov A., Grethe H., McDonald S.(2013). Carbon taxation in Russia: Prospects for a double dividend and improved energy efficiency, Energy Economics volume 37, pages 128–140.

59. Partnership for Action on Green Economy (PAGE) (2017), The Integrated Green Economy Framework (IGEM) Technical document.

60. Partnership for Market Readiness (PMR) 2017. Carbon Tax Guide: A Handbook for Policy Makers. World Bank, Washington, DC. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO.

61. Pearce, David W., (1991). The role of carbon taxes in adjusting to global warming. Econ. J. 101, pages 938–948.

62. Pillay S., Buys, P. (2013). Carbon Tax Pricing And The Social Cost Of Carbon: The Case In The South African Motor Vehicle Manufacturing Industry. Journal of Applied Business Research. volume 29, pages 1751-1762.

63. PNUD, (2012) Intégration du changement climatique dans les les processus nationaux de développement et de programmation de pays des Nations Unies : Un manuel pour aider les équipes de pays des Nations Unies à intégrer les risques et opportunités liés au changement climatique, 32p

64. Qian Wang, Klaus Hubacek et al (2016), Distributional effects of carbon taxation. Applied Energy, Volume 184, Pages 1123-1131.

65. Robichaud V., Lemelin, A., Maisonnave H., et al.(2012). PEP-1-t a user guide.

66. Stern N., et al.( 2006). Stern Review: The economics of climate change, London: HM treasury Vol. 30.

67. Sultan, B. et al. (2008). Les impacts agronomiques du climat en Afrique de l'Ouest : une illustration des problèmes majeurs. Sécheresse, 19(1), 29–37.

68. Sultan B. (2015) et al. Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest. Nouvelle édition [en ligne]. Marseille : IRD Éditions.
69. Sumner J, Bird L, Dobos H. (2011). Carbon taxes: a review of experience and policy design considerations. *Climate Policy*;11(2):922–43.
70. Thibault Laconde (2015) (consulté le 24/08/2018). La taxe carbone, une idée neuve ? <http://energie-developpement.blogspot.com/2015/11/taxe-carbone-USA-Europe-histoire.html>
71. Voica M. C., Panait M., Radulescu I.(2015). Green Investments - between necessity, fiscal constraints and profit, *Procedia Economics and Finance*, volume 22, pages 72 – 79.
72. Zhang Z., Baranzini A.(2004). What do we know about carbon taxes? An inquiry into their impacts on competitiveness and distribution of income, *Energy Policy* volume 32, pages 507–518.
73. Zhao Y., Li H. et al (2018). Scenario analysis of the carbon pricing policy in China's power sector through 2050: Based on an improved CGE model, *Ecological Indicators*, volume 85 pages 352–366.

# Annexes

## A. Complément d'information et autres résultats

Tableau 5: Facteurs par défaut du GIEC de la teneur en carbone pour les principaux combustibles fossiles primaires et secondaires.

<b>Liquides</b>	<b>(t C/TJ)</b>	<b>Solides</b>	<b>(t C/TJ)</b>	<b>Gazeux</b>	<b>(t C/TJ)</b>
<i>Combustibles primaires</i>		<i>Combustibles primaires</i>		Gaz naturel (sec)	15,3
Pétrole brut	20,0	Anthracite	26,8		
Orimulsion	22,0	Charbon cokéfiabie	25,8		
Liquides du gaz naturel	17,2	Autres charbons bitumeux	25,8		
<i>Combustibles secondaires</i>		Charbon sous-bitumeux	26,2		
Essence	18,9	Lignite	27,6		
Carburacteur	19,5	Schiste bitumeux	29,1		
Autre kérosène	19,6	Tourbe	28,9		
Schiste bitumeux	20,0	<i>Combustibles secondaires</i>			
Gazole	20,2	Briquettes de lignite et agglomérés	25,8*		
Fioul résiduel	21,1	Coke de four/coke de gaz	29,5		
GPL	17,2				
Ethane	16,8				
Naphta	20,0*				
Bitume	22,0				
Lubrifiants	20,0*				
Coke de pétrole	27,5				
Matières premières de raffineries	20,0*				
Autres huiles	20,0*				

Source: Groupe Consultatif d'Experts (GCE).

Tableau 6: Agrégation des différentes branches d'activités de la MCS d'origine

<b>Agriculture</b>	Cultures vivrières ; Cultures de rente ; Élevage ; Sylviculture, exploitation forestière ; Pêche
<b>Activités extractives</b>	Activités extractives
<b>Industrie agroalimentaire</b>	Viande-Poisson transformés ; Travail de grains ; Produits alimentaires céréaliers ; Sucre ; Autres produits alimentaires ; Boissons
<b>Industries chimiques</b>	Chimie ; Engrais
<b>Autres industries</b>	Tabac manufacturé ; Textiles ; Cuir ; Bois, papier ; Publication, édition ; Caoutchouc ; Autres produits manufacturés ; Verre, poterie
<b>Pétrole, cokéfaction</b>	Pétrole, cokéfaction
<b>Matériels &amp; construction</b>	Métallurgie ; Machines ; Équipements, appareils ; Matériels de transport ; Construction
<b>Électricité, gaz, eau</b>	Électricité, gaz, eau
<b>Autres services</b>	Commerce ; Services de réparation ; Transports ; Poste et télécommunication ; Services financiers ; Activités immobilières ; Autres services aux entreprises ; Éducation et formation ; Activités de santé et action sociale ; Autres activités à caractère collectif ou personnel ;
<b>Administration publique</b>	Administration publique
<b>Hébergement et restauration</b>	Services d'hébergement et restauration

Source: Auteur, les données de la MCS de 2014.



Tableau 7: Les intensités en carbone des produits selon la demande

<b>Produit</b>	<b>Intensité en carbone (tCO<sub>2</sub>/1000Rands de la demande)</b>	<b>Intensité en carbone (MtCO<sub>2</sub>/milliards de FCFA de la demande)</b>
Extractives	0,621	0,0155
Raffinage/cokéfaction	0,659	0,0165

Source: Calcul de l'auteur, à partir des estimations de Arndt et al.(2013)

Tableau 8: Les paramètres d'externalité

<b>Branche d'activité</b>	<b>Route</b>	<b>Électricité</b>	<b>Télécom</b>
Agriculture	0,05	0,015	0,025
Les extractives	0,085	0,02	0,015
Industrie agroalimentaire	0,035	0,1	0,015
Industries chimiques	0,035	0,1	0,015
Autres industries	0,035	0,1	0,015
Raffinage/cokéfaction	0,085	0,02	0,015
Matériels & construction	0,035	0,1	0,015
Électricité, gaz, eau	0,035	0,1	0,015
Autres services	0,055	0,075	0,045
Administration publique	0,05	0,05	0,05
Hébergement et restauration	0,025	0,055	0,035

Source: Auteur, à partir des travaux de Perrault et al. (2010).

Tableau 9: Paramètres libres

	$\sigma_j^{KD}$	$\sigma_j^{LD}$	$\sigma_j^{VA}$	$\sigma_j^{XT}$	$\sigma_j^M$	Élasticité revenu		
						Ménages ruraux	Ménages urbains	Ménages RDM
Agriculture	0,80	0,80	1,50	2,00	1,50	0,70	0,70	0,70
Extractives	0,80	0,80	1,50	2,00	1,50	1,10	1,10	1,10
Industrie agroalimentaire	0,80	0,80	1,50	2,00	1,50	1,10	1,10	1,10
Pétrole, cokéfaction	0,80	0,80	1,50	2,00	1,50	1,05	1,05	1,05
Industries chimiques	0,80	0,80	1,50	2,00	1,50	1,05	1,05	1,05
Autres industries	0,80	0,80	1,50	2,00	1,50	0,70	0,70	0,70
Électricité, gaz, eau	0,80	0,80	1,50	2,00	1,50	1,10	1,10	1,10
Matériels & construction	0,80	0,80	1,50	2,00	1,50	1,10	1,10	1,10
Hébergement et restauration	0,80	0,80	1,50	2,00	1,50	1,05	1,05	1,05
Administration publique	0,80	0,80	1,50	2,00	1,50	1,05	1,05	1,05
Autres services	0,80	0,80	1,50	2,00	1,50	1,05	1,05	1,05
Frisch						-1,50	-1,50	-1,50

Source: Décaluwé et al.(2003).

Tableau 10: Variation moyenne des variables entre 2019 et 2030 selon les différents scénarios par rapport à la situation de référence

Variable	Schéma de la taxe domestique de 30\$tCO2	Schéma IIE	Schéma IIT
Émissions de GES	-4,90%	-4,11%	-4,44%
PIB réel	0,33%	1,30%	0,83%
Investissement	2,73%	2,96%	2,82%
Production de la branche du raffinage	-10,11%	-9,48%	-9,73%
Production d'électricité, gaz et eau	-0,91%	0,10%	-0,46%
IPC	0,11%	-0,82%	-0,41%
Importation de produits pétroliers	5,88%	6,50%	6,21%
Revenu du gouvernement	2,51%	2,62%	2,55%
Revenus des firmes	-0,22%	-0,54%	-0,43%

Revenus des ménages ruraux	-0,13%	-0,61%	-0,40%
Revenus des ménages urbains	-0,33%	-0,45%	-0,43%
Bien-être ménages ruraux	-2,55%	2,46%	-0,54%
Bien-être ménages urbains	-4,71%	3,54%	-0,29%
<b>Exportations</b>			
Produits agricoles	0,28%	3,44%	1,35%
Produits des extractives	-0,18%	0,60%	1,53%
Produits de l'agroalimentaire	0,25%	2,34%	1,06%
Produits des autres industries	0,09%	1,90%	0,81%
Produits des autres services	0,28%	1,90%	1,44%
Matériels & construction	0,77%	2,35%	1,93%
Produits chimiques	-0,01%	1,46%	0,55%
Produits du raffinage	-14,35%	-13,93%	-14,07%
Electricité-gaz-eau	-	-	-
<b>Prix à la consommation</b>			
Produits agricoles	-0,18%	-1,63%	-0,69%
Produits des extractives	-0,01%	-0,06%	-0,05%
Produits de l'agroalimentaire	-0,16%	-0,98%	-0,55%
Produits des autres industries	-0,03%	-0,63%	-0,27%
Produits des autres services	-0,21%	-1,12%	-0,90%
Matériels & construction	0,04%	-0,61%	-0,46%
Produits chimiques	-0,02%	-0,10%	-0,08%
Produits du raffinage	5,08%	4,96%	4,99%
Electricité-gaz-eau	1,47%	0,52%	1,12%
<b>Rémunération du travail (sectoriel)</b>			
Agriculture	-0,33%	-0,43%	-0,35%
Les extractives	-0,37%	-0,40%	-0,40%
Industrie agroalimentaire	-0,36%	-0,41%	-0,39%
Raffinage/cokéfaction	-0,38%	-0,40%	-0,44%
Autres industries	-0,35%	-0,41%	-0,38%
Industries chimiques	-0,36%	-0,41%	-0,40%

Matériels \& construction	-0,36%	-0,41%	-0,40%
Autres services	-0,38%	-0,40%	-0,44%
Électricité, gaz, eau	-0,38%	-0,40%	-0,42%

Source: Calcul de l'auteur, à partir des sorties de GAMS

## B. Équations, paramètres et variables du modèle

### 1. Les équations du modèle

#### Bloc production

1.  $VA_{j,t} = v_j XST_{j,t}$
2.  $CI_{j,t} = io_j XST_{j,t}$
3.  $VA_{j,t} = APK_{j,t} [\beta_j^{VA} LDC_{j,t}^{-\rho_j^{VA}} + (1 - \beta_j^{VA}) KDC_{j,t}^{-\rho_j^{VA}}] \frac{1}{\rho_j^{VA}}$
4.  $LDC_{j,t} = [\frac{\beta_j^{VA}}{1 - \beta_j^{VA}} \frac{RC_{j,t}}{WC_{j,t}}]^{\sigma_j^{VA}} KDC_{j,t}$
5.  $LDC_{j,t} = B_j^{LD} [\sum_l \beta_{l,j}^{LD} LD_{l,j,t}^{-\rho_j^{LD}}] \frac{1}{\rho_j^{LD}}$
6.  $LD_{l,j,t} = [\frac{\beta_{l,j}^{LD} WC_{j,t}}{WTI_{l,j,t}}]^{\sigma_j^{LD}} (B_j^{LD})^{\sigma_j^{LD}-1} LDC_{j,t}$
7.  $KDC_{j,t} = B_j^{KD} [\sum_k \beta_{k,j}^{KD} KD_{k,j,t}^{-\rho_j^{KD}}] \frac{1}{\rho_j^{KD}}$
8.  $KD_{k,j,t} = [\frac{\beta_{k,j}^{KD} RC_{j,t}}{RTI_{k,j,t}}]^{\sigma_j^{KD}} (B_j^{KD})^{\sigma_j^{KD}-1} KDC_{j,t}$
9.  $DI_{i,j,t} = aij_{i,j} CI_{j,t}$
- 10.

#### Bloc revenu et épargne

##### Les ménages

11.  $YH_{h,t} = YHL_{h,t} + YHK_{h,t} + YHTR_{h,t}$
12.  $YHL_{h,t} = \sum_l \lambda_{h,l}^{WL} (W_{l,t} \sum_j LD_{l,j,t})$
13.  $YHK_{h,t} = \sum_k \lambda_{h,k}^{RK} (\sum_j R_{k,j,t} KD_{k,j,t})$
14.  $YHTR_{h,t} = \sum_{ag} TR_{h,ag,t}$
15.  $YDH_{h,t} = YH_{h,t} - TDH_{h,t} - TR_{gvt,h,t}$
16.  $CTH_{h,t} = YDH_{h,t} - SH_{h,t} - \sum_{agng} TR_{agng,h,t}$
17.  $SH_{h,t} = PIXCON_t^\eta sh0_{h,t} + sh1_{h,t} YDH_{h,t}$

##### Les firmes

18.  $YF_{f,t} = YFK_{f,t} + YFTR_{f,t}$
19.  $YFK_{f,t} = \sum_k \lambda_{f,k}^{RK} (\sum_j R_{k,j,t} KD_{k,j,t})$

20.  $YFTR_{f,t} = \sum_{ag} TR_{f,ag,t}$   
 21.  $YDF_{f,t} = YF_{f,t} - TDF_{f,t}$   
 22.  $SF_{f,t} = YDF_{f,t} - \sum_{ag} TR_{ag,f,t}$

Le gouvernement

23.  $YG_t = YGK_t + TDHT_t + TDFT_t + TPROD N_t + TPRCTS_t + YGTR_t$   
 24.  $YGK_t = \sum_k \lambda_{gvt,k}^{RK} (\sum_j R_{k,j,t} KD_{k,j,t})$   
 25.  $TDHT_t = \sum_j TDH_{h,t}$   
 26.  $TDFT_t = \sum_f TDF_{f,t}$   
 27.  $TPRODN_t = TIWT_t + TIKT_t + TIPT_t$   
 28.  $TIWT_t = \sum_{l,j} TIW_{l,j,t}$   
 29.  $TIKT_t = \sum_{k,j} TIK_{k,j,t}$   
 30.  $TIPT_t = \sum_j TIP_{j,t}$   
 31.  $TPRCTS_t = TICT_t + TIMT_t + TIXT_t$   
 32.  $TICT_t = \sum_i TIC_{i,t}$   
 33.  $TIMT_t = \sum_i TIM_{i,t}$   
 34.  $TIXT_t = \sum_i TIX_{i,t}$   
 35.  $YGTR_t = \sum_{agnng} TR_{gvt,agnng,t}$   
 36.  $TDH_{h,t} = PIXCON_t^n ttdh0_{h,t} + ttdh1_{h,t} YH_{h,t}$   
 37.  $TDF_{f,t} = PIXCON_t^n ttdf0_{f,t} + ttdf1_{f,t} YFK_{f,t}$   
 38.  $TIW_{l,j,t} = ttiw_{l,j,t} W_{l,t} LD_{l,j,t}$   
 39.  $TIK_{k,j,t} = ttik_{k,j,t} R_{k,j,t} KD_{k,j,t}$   
 40.  $TIP_{l,j,t} = (ttip_{j,t} + duml_{j,t}) PP_{j,t} XST_{j,t}$   
 41.

$$TIC_{i,t} = ttic_{i,t} [(PL_{i,t} + \sum_{ij} PC_{ij,t} tmr g_{ij,i}) DD_{i,t} + ((1 + ttim_{i,t}) PWM_{i,t} e_t + \sum_{ij} PC_{ij,t} tmr g_{ij,i}) IM_{i,t}]$$

42.  $TIM_{i,t} = ttim_{i,t} PWM_{i,t} e_t IM_{i,t}$   
 43.  $TIX_{i,t} = ttix_{i,t} (PE_{i,t} + \sum_{ij} PC_{ij,t} tmr g_{ij,i}^x) EXD_{i,t}$   
 44.  $SG_t = YG_t - \sum_{agnng} TR_{agnng,gvt,t} - G_t$

Le restedu monde

$$45. YROW_t = e_t \sum_i PWM_{i,t} IM_{i,t} + \sum_k \lambda_{row,k}^{RK} \left( \sum_j R_{k,j,t} KD_{k,j,t} \right) + \sum_{agd} TR_{row,agd,t}$$

$$46. SROW_t = YROW_t - \sum_i PE_{i,t}^{FOB} EXD_{i,t} - \sum_{agd} TR_{agd,row,t}$$

$$47. SROW_t = -CAB_t$$

### Les transferts

$$48. TR_{agng,h,t} = \lambda_{agng,h}^{TR} YDH_{h,t}$$

$$49. TR_{gvt,h,t} = PIXCON_t^\eta tr0_{h,t} + tr1_{h,t} YH_{h,t}$$

$$50. TR_{ag,f,t} = \lambda_{ag,f}^{TR} YDF_{f,t}$$

$$51. TR_{agng,gvt,t} = PIXCON_t^\eta TR_{agng,gvt}^O pop_t$$

$$52. TR_{agd,row,t} = PIXCON_t^\eta TR_{agd,row}^O pop_t$$

### Bloc demande

$$53. PC_{i,t} C_{i,h,t} = PC_{i,t} C_{i,h,t}^{MIN} + \gamma_{i,h}^{LES} (CTH_{h,t} - \sum_{ij} PC_{ij,t} C_{ij,h,t}^{MIN})$$

$$54. GFCF_t = IT_t - \sum_i PC_{i,t} VSTK_{i,t}$$

$$55. PC_{i,t} INV_{i,t}^{PRI} = \gamma_i^{INVPRI} IT_t^{PRI}$$

$$56. PC_{i,t} INV_{i,t}^{PUB} = \gamma_i^{INVPUB} IT_t^{PUB}$$

$$57. INV_{i,t} = INV_{i,t}^{PUB} + INV_{i,t}^{PRI}$$

$$68. PC_{i,t} CG_{i,t} = \gamma_i^{GVT} G_t$$

$$59. DIT_t = \sum_j DI_{i,j,t}$$

$$60. MRGN_{i,t} = \sum_{ij} tmrg_{i,ij} DD_{ij,t} + \sum_{ij} tmrg_{i,ij} IM_{ij,t} + \sum_{ij} tmrg_{i,ij} EXD_{ij,t}$$

### Bloc de l'offre et du commerce international

$$61. XST_j = B_j^{XT} \left[ \sum_i \beta_{j,i}^{XT} XS_{j,i,t}^{\rho_j^{XT}} \right]^{\frac{1}{\rho_j^{XT}}}$$

$$62. XS_{j,i,t} = \frac{XST_{j,t}}{(B_j^{XT})^{\sigma_j^{XT} + 1} \beta_{j,i}^{XT} PT_{j,t}} \left[ \frac{P_{j,i,t}}{\beta_{j,i}^{XT} PT_{j,t}} \right]^{\sigma_j^{XT}}$$

$$63. XS_{j,i,t} = B_{j,i}^X \left[ \beta_{j,i}^X EX_{j,i,t}^{\rho_{j,i}^X} + (1 - \beta_{j,i}^X) DS_{j,i,t}^{\rho_{j,i}^X} \right]^{\frac{1}{\rho_{j,i}^X}}$$

$$64. EX_{j,i,t} = \left[ \frac{1 - \beta_{j,i}^X}{\beta_{j,i}^X} \frac{PE_{i,t}}{PL_{i,t}} \right]^{\sigma_j^X} DS_{j,i,t}$$

$$65. EXD_{j,i,t} = EXD_i^O pop_t \left( \frac{e_t PWX_{i,t}}{PE_{i,t}^{FOB}} \right)^{\sigma_i^{XD}} DS_i$$

$$66. Q_{i,t} = B_i^M \left[ \beta_i^M IM_{i,t}^{-\rho_i^M} + (1 - \beta_i^M) DD_{i,t}^{-\rho_i^M} \right]^{\frac{1}{\rho_i^M}}$$

$$67. \quad IM_{i,t} = \left[ \frac{\beta_i^M}{1 - \beta_i^M} \frac{PD_{i,t}}{PM_{i,t}} \right]^{\sigma_i^M} DD_{i,t}$$

Bloc des prix  
Production

$$68. \quad PP_{j,t} = \frac{PVA_{j,t} VA_{j,t} + PCI_{j,t} CI_{j,t}}{XST_{j,t}}$$

$$68. \quad TIP_{j,t} = (1 + ttip_{j,t} + dum1_{j,t}) PP_{j,t}$$

$$70. \quad PCI_{j,t} = \frac{\sum_i PCI_{i,t} DI_{i,j,t}}{CI_{j,t}}$$

$$71. \quad PVA_{j,t} = \frac{WC_{j,t} LDC_{j,t} + RC_{j,t} KDC_{j,t}}{VA_{j,t}}$$

$$72. \quad WC_{j,t} = \frac{\sum_l WTI_{l,j,t} LD_{l,j,t}}{LDC_{j,t}}$$

$$73. \quad WTI_{l,j,t} = W_{l,t} (1 + ttiw_{l,j,t})$$

$$74. \quad RC_{j,t} = \frac{\sum_k RTI_{k,j,t} KD_{k,j,t}}{KDC_{j,t}}$$

$$75. \quad RTI_{k,j,t} = R_{k,j,t} (1 + ttik_{k,j,t})$$

Commerce international

$$76. \quad PT_{j,t} = \frac{\sum_i P_{j,i,t} XS_{j,i,t}}{XST_{j,t}}$$

$$77. \quad P_{j,i,t} = \frac{PE_{i,t} EX_{j,i,t} + PL_{i,t} DS_{j,i,t}}{XS_{j,i,t}}$$

$$78. \quad PE_{i,t}^{FOB} = (PE_{i,t} + \sum_{ij} tmrg_{ij,i}^X PC_{ij,t}) (1 + ttix_{i,t})$$

$$79. \quad PD_{i,t} = (1 + ttic_{i,t}) (PL_{i,t} + \sum_{ij} tmrg_{ij,i}^X PC_{ij,t})$$

$$80. \quad PM_{i,t} = (1 + ttic_{i,t}) ((1 + ttim_{i,t}) e_t PWM_{i,t} + \sum_{ij} tmrg_{ij,i}^X PC_{ij,t})$$

$$81. \quad PC_{i,t} = \frac{PM_{i,t} IM_{i,t} + PD_{i,t} DD_{i,t}}{Q_{i,t}}$$

Indices des prix

$$82. \text{PIXGDP}_t = \sqrt{\frac{\sum_j (PVA_{j,t} + \frac{TIP_{j,t}}{VA_{j,t}}) VA_j^O \sum_j (PVA_{j,t} VA_{j,t} + TIP_{j,t})}{\sum_j (PVA_j^O VA_j^O + TIP_j^O) \sum_j (PVA_j^O + \frac{TIP_j^O}{VA_j^O}) VA_{j,t}}}$$

$$83. \text{PIXCON}_t = \frac{\sum_i PC_{i,t} \sum_h C_{i,h}^O}{\sum_{ij} PC_{ij,t}^O \sum_h C_{ij,h}^O}$$

$$84. \text{PIXINV}_t^{PRI} = \prod_i \left( \frac{PC_{i,t}}{PC_i^O} \right)^{\gamma_i^{INVPRI}}$$

$$85. \text{PIXINV}_t^{PUB} = \prod_i \left( \frac{PC_{i,t}}{PC_i^O} \right)^{\gamma_i^{INVPUB}}$$

$$86. \text{PIXGVT}_t = \prod_i \left( \frac{PC_{i,t}}{PC_i^O} \right)^{\gamma_i^{GVT}}$$

87.

*Conditions d'équilibre*

$$88. Q_{i,t} = \sum_h C_{i,h,t} + CG_{i,t} + INV_{i,t} + VSTK_{i,t} + DIT_{i,t} + MRGN_{i,t}$$

$$89. \sum_j LD_{l,j,t} = LS_{l,t}$$

$$90. \sum_j KD_{k,j,t} = KS_{k,t}$$

$$91. IT_t = \sum_h SH_{h,t} + \sum_h SF_{f,t} + SROW_t + SG_t$$

$$92. IT_{i,t}^{PRI} = IT_t - IT_{i,t}^{PUB} - \sum_i PC_{i,t} VSTK_{i,t}$$

$$93. \sum_j DS_{j,i,t} = DD_{i,t}$$

$$94. \sum_j EX_{j,i,t} = EXD_{i,t}$$

$$95. GDP_t^{BP} = \sum_j PVA_{j,t} VA_{j,t} + TIPT_t$$

$$96. GDP_t^{MP} = GDP_t^{BP} + TPRCTS_t$$

$$97. GDP_t^{IB} = \sum_{l,j} W_{l,t} LD_{l,j,t} + \sum_{k,j} R_{k,j,t} KD_{k,j,t} + TPRCTS_t + TPROD_{i,t}$$

98.

$$GDP_t^{FD} = \sum_i PC_{i,t} \left[ \sum_h C_{i,h,t} + CG_{i,t} + INV_{i,t} + VSTK_{i,t} \right] + \sum_i PE_{i,t}^{FOB} EXD_{i,t} + \sum_i e_t PWM_{i,t} IM_{i,t}$$

Variables réelles

$$99. CTH_{h,t}^{REAL} = \frac{CTH_{h,t}}{\text{PIXCON}_t}$$

$$100. \quad G_t^{REAL} = \frac{G_t}{PIXCON_t}$$

$$101. \quad GDP_t^{BP\_REAL} = \frac{GDP_t^{BP}}{PIXCON_t}$$

$$102. \quad GDP_t^{MP\_REAL} = \frac{GDP_t^{MP}}{PIXCON_t}$$

$$103. \quad GFCF_t^{PRI\_REAL} = \frac{IT_t^{PRI}}{PIXINV_t^{PRI}}$$

$$104. \quad GFCF_t^{PUB\_REAL} = \frac{IT_t^{PUB}}{PIXINV_t^{PUB}}$$

Equations dynamiques

$$106. \quad KD_{k,j,t+1} = KD_{k,j,t}(1 - \delta_{k,j}) + IND_{k,j,t}$$

$$107. \quad IT_t^{PUB} = PK_t^{PUB} \sum_{k,pub} IND_{k,pub,t} + p\_inv * revenu\_tax_t$$

$$108. \quad IT_t^{PRI} = PK_t^{PRI} \sum_{k,pub} IND_{k,pub,t}$$

$$109. \quad PK_t^{PRI} = \frac{1}{A^{K\_PRI}} \prod_i \left[ \frac{PC_{i,t}}{\gamma_i^{INVPRI}} \right]^{\gamma_i^{INVPRI}}$$

$$110. \quad PK_t^{PUB} = \frac{1}{A^{K\_PUB}} \prod_i \left[ \frac{PC_{i,t}}{\gamma_i^{INVPUB}} \right]^{\gamma_i^{INVPUB}}$$

$$111. \quad IND_{k,bus,t} = \phi_{k,bus} \left[ \frac{R_{k,bus,t}}{U_{k,bus,t}} \right]^{\sigma_{k,bus}^{INV}} KD_{k,bus,t}$$

$$112. \quad U_{k,bus,t} = PK_t^{PRI} (\delta_{k,bus} + IR_t) U_{k,pub,t} = PK_t^{PUB} (\delta_{k,pub} + IR_t)$$

113.

Autres équations

$$114. \quad revenu\_tax_t = \sum_j duml_{j,t} PP_{j,t} XST_{j,t}$$

115.

$$leon_t = Q_{c\_agri,t} - \sum_h C_{c\_agri',h,t} - CG_{c\_agri',t} - INV_{c\_agri',t} - VSTK_{c\_agri',t} - DIT_{c\_agri',t} - MRGN_{c\_agri',t}$$

## 2. Définitions des ensembles

Branches d'activité et produits

Toutes les branches :  $j, jj \in J = \{J_1, \dots, J_j, \dots\}$

Tous les produits :  $i, ij \in I = \{I_1, \dots, I_i, \dots\}$

Le secteur public :  $pub \in PUB \subset J$

Les secteurs privés :  $bus \in BUS \subset J = \{BUS_1, \dots, BUS_{bus}, \dots\}$ ;  $BUS \cap PUB = \emptyset$

Facteurs de production

Type de travail :  $l \in L = \{L_1, \dots, L_l, \dots\}$

Type de capital :  $k \in K = \{K_1, \dots, K_k, \dots\}$

## Agents

Tous les agents

$$ag, agj \in AG = H \cup F \cup \{GVT, ROW\} = \{H_1, \dots, H_h, \dots, F_1, \dots, F_f, \dots, GVT, ROW\}$$

Les ménages :  $h, hj \in H \subset AG = \{H_1, \dots, H_h, \dots\}$

Les entreprises :  $f, fj \in F = \{F_1, \dots, F_f, \dots\} \subset AG$

Les ménages :  $h, hj \in H = \{H_1, \dots, H_h, \dots\} \subset AG$

Les agents non gouvernementaux :  $agng \in AGNG \subset AG = H \cup F \cup \{ROW\}$

### 3. Variables

$C_{i,h,t}$	Consommation du produit i par le ménage h	$C_{i,h,t}^{MN}$	Consommation minimale du produit i par le ménage h
$CAB_t$	Solde du compte courant	$CG_{i,t}$	Consommation intermédiaire de la branche j
$CI_{j,t}$	Consommation intermédiaire de la branche j	$CTH_{h,t}$	Budget de consommation du ménage de type h
$DD_{i,t}$	Demande domestique de bien i localement produit	$DI_{i,j,t}$	Consommation intermédiaire du bien i par la branche j
$DIT_{i,t}$	Demande de consommation intermédiaire en produit i	$DS_{j,i,t}$	Offre du produit i par la branche j sur le marché domestique
$e_t$	Taux de change à l'incertain	$EX_{i,t}$	Quantité du produit i exporté
$EX_{j,i,t}$	Exportation du produit i par le secteur j	$EXD_{j,i,t}$	Demande mondiale d'exportations
$G_t$	Dépenses publiques en biens et services	$GDP_t^{BP}$	PIB au prix de base selon l'optique production
$GDP_t^{MP}$	PIB au prix du marché selon l'optique production	$GFCF_t^{MP}$	Formation brute de capital fixe(nominal)
$IM_{i,t}$	Quantité du produit i importé	$INV_{i,t}$	Demande réelle finale en produit i à des fins d'investissement
$INV_{i,t}^{PRI}$	Demande finale en produit i a des fins d'investissement privé	$INV_{i,t}^{PUB}$	Demande finale en produit i à des fins d'investissement public
$IT_t$	Investissement total (nominal)	$IT_t^{PRI}$	Investissement total privé
$IT_t^{PUB}$	Investissement total public	$KD_{k,j,t}$	Demande de capital de type k par la branche j
$KDC_{j,t}$	Demande de capital composite de la branche j	$KS_{k,t}$	Offre de capital de type k
$LD_{l,j,t}$	Demande de travail de type l par la branche j	$LS_{l,t}$	Offre de travail de type l
$MRGN_{i,t}$	Demande pour le produit i comme une marge de commerce et de transport	$P_{j,i,t}$	Prix de base du bien i produit par la branche j
$PC_{i,t}$	Prix à la consommation du bien composite toutes taxes et marges comprises	$PCI_{j,t}$	Prix de la consommation intermédiaire agrégée de la branche j
$PCO_i$	Prix du bien composite i observé avant le choc	$PD_{i,t}$	Prix du produit domestique i vendu sur le marché local toutes taxes et marges comprises

$PE_{i,t}$	Prix reçu pour l'exportation du produit i à l'exclusion des taxes sur les exportations	$PE_{i,t}^{FAB}$	Prix FAB du bien i exporté
$PIXCOM_t$	Indice des prix à la consommation	$PIXGDP_t$	Indicateur du PIB
$PIXGVT_t$	Indice des prix des dépenses publiques	$PIXIN_t$	Indice des prix à l'investissement
$PL_{i,t}$	Prix local du produit i à l'exclusion des taxes sur les produits	$PM_{i,t}$	Prix du produit i importé toutes taxes et marges comprises
$PP_{i,t}$	Prix unitaire de la production agrégée de la branche j y compris les taxes de l'utilisation des facteurs et hors des autres taxes sur la production	$PT_{j,t}$	Prix de base de la production agrégée de la branche j
$PVA_{j,t}$	Prix de la valeur ajoutée de la branche j les taxes relatives à l'utilisation des facteurs étant incluses	$PWM_{i,t}$	Prix mondial du produit i importé (exprimé en monnaie étrangère)
$PWX_{i,t}$	Prix mondial du bien i exporté	$Q_{i,t}$	Quantité demandée du produit i
$R_{k,j,t}$	Revenu du capital de type k dans la branche j	$RC_{j,t}$	Revenu du capital composite pour l'entreprise j
$RK_{k,j}$	Revenu du capital de type k si le capital est mobile	$RTI_{k,j}$	Revenu payé par la branche j pour le capital de type k (taxes sur le capital incluses)
$SG_t$	Épargne publique	$SF_{f,t}$	Épargne de la firme de type f
$SH_{h,t}$	Épargne du ménage de type h	$SROW_t$	Épargne extérieure
$TDF_{f,t}$	Montant des taxes directes sur le revenu de la firme f	$TDF_t$	Revenu total du gouvernement provenant des taxes sur le revenu des entreprises
$TDH_{h,t}$	Montant des taxes directes sur le revenu du ménage h	$TDH_t$	Revenu total du gouvernement provenant des taxes sur le revenu des ménages
$TCI_{i,t}$	Revenu du gouvernement sur les taxes indirectes du produit i	$TCIT_t$	Revenu total du gouvernement provenant des taxes indirectes sur les biens
$TIK_{k,j,t}$	Revenu du gouvernement obtenu des taxes de l'utilisation du capital de type k par la branche j	$TIK_t$	Revenu total du gouvernement obtenu des taxes de l'utilisation du capital
$TIM_{i,t}$	Revenu du gouvernement des taxes sur l'importation du produit i	$TIM_t$	Revenu total du gouvernement des taxes sur les importations
$TIP_{j,t}$	Revenu du gouvernement des taxes sur la production de l'entreprise j à l'exclusion des taxes sur l'utilisation des facteurs	$TIPT_t$	Revenu total du gouvernement des taxes sur la production à l'exclusion des taxes sur l'utilisation des facteurs
$TIW_{l,j,t}$	Revenu du gouvernement obtenu des taxes de l'utilisation du travail de type l par la branche j	$TIW_t$	Revenu total du gouvernement des taxes sur l'utilisation travail
$TIX_{i,t}$	Revenu du gouvernement des taxes sur l'exportation du produit i	$TIXT_t$	Revenu total du gouvernement des taxes sur les exportations
$tmg_{ij,i}$	Taux de marge ij appliqué sur le produit i	$tmg_{ij,i}$	Taux de marge ij appliqué sur l'exportation du produit i
$TPRCT_t$	Revenu total du gouvernement des taxes sur les produits et les importations	$TPROD_t$	Revenu total du gouvernement des autres taxes sur la production c'est à dire en dehors des taxes sur les produits
$tr0_{h,t}$	Constante (transferts du ménage de type h au gouvernement)	$tr1_{h,t}$	Taux marginal de transfert du ménage de type h au gouvernement
$ttdf0_{f,t}$	Constante (taxes sur le revenu de la firme f)	$ttdf1_{f,t}$	Taux de taxe marginal du revenu de la firme f
$ttdh0_{h,t}$	Constante (taxes sur le revenu du ménage h)	$ttdh1_{h,t}$	Taux de taxe marginal sur le revenu du ménage h
$ttic_{i,t}$	Taxe sur le produit i	$ttik_{k,j,t}$	Taxe sur le capital de type k dans la branche j

$ttim_{i,t}$	Taxe sur l'importation du produit i	$ttip_{j,t}$	Taxe sur la production de la branche j
$ttiw_{l,j,t}$	Taxe sur le travail de type l dans la branche j	$ttix_{i,t}$	Taxe sur l'exportation du produit i
$VA_{j,t}$	Valeur ajoutée de la branche j	$VSTK_{i,t}$	Variation de stock du bien i
$W_{l,t}$	Salaires du travail de type l	$WC_{j,t}$	Revenu du travail composite pour l'entreprise j
$WTI_{l,j,t}$	Salaires payés par la branche j pour le travail de type l (taxes sur le travail incluses)	$XS_{j,i,t}$	Production du bien i par la branche j
$XST_{j,t}$	Production totale agrégée de la branche j	$YDF_{f,t}$	Revenu disponible de la firme f
$YDH_{h,t}$	Revenu disponible du ménage h	$YF_{f,t}$	Revenu total de la firme f
$YFK_{f,t}$	Revenu du capital de la firme f	$YFTR_{f,t}$	Revenu des transferts de la firme f
$YG_t$	Revenu total du gouvernement	$YGK_t$	Revenu du capital du gouvernement
$YGTR_t$	Revenu du gouvernement des transferts	$YH_{h,t}$	Revenu total du ménage de type h
$YHK_{h,t}$	Revenu du capital du ménage de type h	$YHL_{h,t}$	Revenu du travail du ménage de type h
$YROW_t$	Revenu du reste du monde	$Leon$	Équilibre walrassien
$dum1_{j,t}$	Variable tampon permettant d'établir la trajectoire de la taxe		

#### 4. Les paramètres

$\beta_{l,j}^{XT}$	Paramètre de partage (CET- production totale)	$\beta_{j,i}^X$	Paramètre de partage (CET- Offre locale et extérieure)
$\beta_{k,j}^{KD}$	Paramètre de partage (CES - capital composite)	$\beta_{l,j}^{LD}$	Paramètre de partage (CES - travail composite)
$\beta_i^M$	Paramètre de partage (CES - Bien composite)	$\beta_j^{VA}$	Paramètre de partage (CES- Valeur ajoutée)
$\eta$	Élasticité prix des transferts et paramètres indexés	$\gamma_i^{GVT}$	Part du bien i dans les dépenses publiques totales en biens et services
$\gamma_i^{INV}$	Part du bien i dans les dépenses totales d'investissement h	$\gamma_{i,h}^{LES}$	Élasticité-revenu de bien i pour le ménage h
$\lambda_{ag,agj}^{TR}$	Paramètre de partage (fonctions de transfert)	$\lambda_{ag,k}^{RK}$	Part du revenu de capital de type k reçu par l'agent ag dont le ménage h
$\lambda_{h,l}^{WL}$	Part du revenu de travail de type l reçu par le ménage h	$\lambda_{l,h}^{LES}$	Part marginale du bien i dans le budget de consommation total du ménage h
$\nu, ioj$	Coefficients de la fonction leontief de production	$\rho_j^{XT}$	Paramètre d'élasticité (CET-production totale) $1 < \rho_j^{XT} < \infty$
$\rho_{j,i}^X$	Paramètre d'élasticité (CET- Offre locale et extérieure) $1 < \rho_{j,i}^X < \infty$	$\rho_i^M$	Paramètre d'élasticité (CES - Bien composite) $-1 < \rho_i^M < \infty$
$\rho_j^{KD}$	Paramètre d'élasticité (CES - capital composite) $-1 < \rho_j^{KD} < \infty$	$\rho_j^{LD}$	Paramètre d'élasticité (CES - travail composite) $-1 < \rho_j^{LD} < \infty$
$\rho_j^{VA}$	Paramètre d'élasticité (CES- Valeur ajoutée) $-1 < \rho_j^{VA} < \infty$	$\sigma_i^{XT}$	Élasticité-prix de la demande d'exportations du bien i

$\sigma_j^X$	Élasticité de transformation (CET-production totale) $1 < \sigma_j^X < \infty$	$\sigma_{j,i}^X$	Élasticité de transformation (CET- Offre locale et extérieure) $1 < \sigma_{j,i}^X < \infty$
$\sigma_i^M$	Élasticité de substitution (CES - Bien composite) $0 < \sigma_i^M < \infty$	$\sigma_j^{KD}$	Élasticité de substitution (CES - capital composite) $0 < \sigma_j^{KD} < \infty$
$\sigma_j^{LD}$	Élasticité de substitution (CES - travail composite) $0 < \sigma_j^{LD} < \infty$	$\sigma_j^{VA}$	Élasticité de transformation
$a_{ij}$	Coefficient input-output	$B_{j,i}^X$	Paramètre d'échelle (CET- Offre locale et extérieure)
$B_i^M$	Paramètre d'échelle (CES- Bien composite)	$B_j^{KD}$	Paramètre d'échelle (CES-capital composite)
$B_j^{LD}$	Paramètre d'échelle (CES-travail composite)	$B_j^{VA}$	Paramètre d'échelle (CES-Valeur ajoutée)
$B_j^{XT}$	Paramètre d'échelle (CET-production totale)	$\eta_t$	Taux de croissance démographique
$pop_t$	Indice de population	$\phi_{k,j}$	Paramètre d'échelle (allocation de l'investissement aux secteurs)
$tmrg_{i,ij}$	Taux de marge i appliqué au produit ij	$\delta_{k,j}$	Taux de dépréciation du capital k utilisé par le secteur j
$APK_{j,t}$	Paramètre de productivité	$CIM_{mine}$	Intensité en carbone du pétrole brut
$CIM_{petr}$	Intensité en carbone des produits pétroliers composites	$epsi$	Paramètre d'externalité
$p_{inv}$	Proportion du revenu de la taxation carbone destiné aux investissements publics	$VE_{h,t}$	Variation équivalente
$em_{sec_{j,t}}$	Émissions de GES au niveau du secteur j	$em_{tot_t}$	Émissions totales de l'économie