GREDI

Groupe de Recherche en Économie
et Développement International

Rapport scientifique

# Analyse économique des impacts et de l'adaptation aux changements climatiques de l'industrie forestière québécoise à l'aide d'un modèle d'équilibre général calculable de type micro-simulation

Dorothée Boccanfuso, Luc Savard, Jonathan Goyette, Véronique Gosselin et Clovis Tanekou Mangoua

28 février 2014

Les coûts relatifs aux travaux ont été assumés par Ouranos et le Ministère des Ressources Naturelles du Québec grâce au Fonds vert dans le cadre de la mise en œuvre du Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques du gouvernement du Québec. Les travaux ont également été réalisés en collaboration avec Ressources naturelles Canada.

# Table des matières

Table des matières ..... 2
Table des figures ..... 4
Table des tableaux ..... 5
Résumé ..... 6
1. Introduction ..... 7
1.1 La forêt du Québec ..... 7
1.2 L'industrie forestière du Québec et ses produits ..... 8
1.3 Changements climatiques, forêt et foresterie du Québec ..... 11
1.4 Revue de littérature ..... 12
1.5 Les modèles d'équilibre général calculable (EGC) ..... 13
1.6 Les modèles EGC et les changements climatiques ..... 14
2. Cadre méthodologique ..... 17
2.1 Le cadre comptable : la matrice de comptabilité sociale (MCS) ..... 17
2.2 La base de données du modèle micro-simulation ..... 18
2.3 Les modèles ..... 19
2.3.1 Le modèle EGC en version statique ..... 19
2.3.2 Caractéristiques principales du modèle ..... 19
2.3.3 La production ..... 19
2.3.4 Revenus-épargnes ..... 20
2.3.5 Demande finale intérieure ..... 20
2.3.6 Commerce extérieur ..... 21
2.3.7 Les prix ..... 21
2.3.8 Les équilibres ..... 22
2.3.9 Foresterie et exploitation forestière ..... 22
2.3.10 Cogénération ..... 24
2.3.11 La dynamique du modèle ..... 25
2.3.12 Modélisation des externalités des infrastructures publiques ..... 27
2.3.13 Le modèle micro-simulation ..... 28
2.3.14 La dynamique du modèle micro-simulation ..... 30

2.3.15 La méthodologie pour l'analyse distributive ..... 31
3. Présentation des simulations ..... 32
3.1 Simulations d'impact des changements climatiques ..... 32
3.1.1 Scénarios d'impact sur la productivité forestière ..... 32
3.1.2 Simulation avec choc exogène sur le secteur forestier ..... 34
3.2 Simulation de mesures d'adaptation ..... 35
3.2.1 L'adaptation par les infrastructures soutenant l'industrie forestière ..... 36
3.2.2 L'adaptation par des investissements dans le secteur de soutien à la foresterie ..... 37
4. Analyse des résultats du modèle EGC ..... 38
4.1 Introduction ..... 38
4.2 Analyse macroéconomique et sectorielle ..... 40
4.2.1 Simulation 1 : Augmentation de la productivité forestière de 3% ..... 40
4.2.2 Simulation 4 : Diminution de la productivité forestière de 6% ..... 44
4.2.3 Simulation 5 : hausse temporaire de l'offre de bois de 20% sur 3 ans ..... 49
4.2.4 Simulation 7a : choc négatif du prix mondial du bois de 20% sur 15 ans .. 53
4.2.5 Simulation 9a : adaptation par un programme de construction de routes forestières financé par la TVQ, combinée à une diminution de la productivité forestière de 3% ..... 57
4.2.6 Simulation 10 : adaptation par le soutien à la foresterie conjointement à la simulation 3, ..... 61
4.2.7 Autres simulations ..... 65
5. Analyse distributive ..... 66
5.1 Évolution de la distribution de revenu au cours du temps ..... 66
5.2 Impacts des changements climatiques et mesures d'adaptation sur la distribution de revenu, à travers le temps ..... 69
6. Conclusion ..... 74
Bibliographie ..... 77
Annexes ..... 81

## Table des figures

Figure 1. Fonction de production forestière ----------23
Figure 2. Structure de l'allocation des produits du sciage----------25
Figure 3 : Distributions des revenus en équivalent adulte (BAU - Québec)----------67
Figure 4 : Distributions des revenus en équivalent adulte (BAU – Zones d'habitation rurales) ----------67
Figure 5 : Impacts sur les revenus moyens par déciles en 2029 (a) et 2050 (b)- % pour le Québec ----------70
Figure 6 : Impacts sur la profondeur de la pauvreté (Québec et Zones d'habitation)------71
Figure 7 : Impacts sur la sévérité de la pauvreté (Québec et Zones d'habitation)----------72
Figure 8 : Impacts sur l'inégalité (Québec et Zones d'habitation) ----------73
Figure 9 : Distributions des revenus en équivalent adulte (BAU – Zones d'habitation urbaines) ----------89
Figure 10 : Courbes FGT0 ----------89

## Table des tableaux

Tableau 1 : Exportations de l'industrie forestière pour le Québec et le Canada ..... 8
Tableau 2: Présentation synthétique des simulations ..... 38
Tableau 3 : Présentation synthétique des simulations ..... 38
Tableau 4 : Simulation 1, variables macro et la production ..... 41
Tableau 5 : Simulation 1, les prix et les exportations ..... 42
Tableau 6 : Simulation 4, variables macroéconomique et production ..... 45
Tableau 7 : Simulation 4, prix et exportations ..... 46
Tableau 8 : Simulation 5, variables macroéconomiques et production ..... 50
Tableau 9 : Simulation 5, exportations et prix ..... 51
Tableau 10 : Simulation 7a, variables macroéconomiques et production ..... 54
Tableau 11 : Simulation 7a, exportations et prix ..... 55
Tableau 12 : Simulation 9a, variables macroéconomiques et production ..... 58
Tableau 13 : Simulation 9a, exportations et prix ..... 59
Tableau 14 : Simulation 10, variables macroéconomiques et production ..... 62
Tableau 15 : Simulation 10, exportations et prix ..... 63
Tableau 16 : Pauvreté et Inégalité – Variation du BAU (%) - Québec et zones d'habitation ..... 68
Tableau 17 : Synthèse des simulations traitées dans l'analyse distributive ..... 69
Tableau 18 : Simulation 2, variables macroéconomiques et la production ..... 81
Tableau 19 : Simulation 3 variables macroéconomiques et la production ..... 82
Tableau 20 : Simulation 6a : variables macroéconomiques et la production ..... 83
Tableau 21 : Simulation 6b : variables macros et la production ..... 84
Tableau 22 : Simulation 7b, variables macroéconomiques et production ..... 85
Tableau 23 : Simulation 8a, variables macroéconomiques et production ..... 86
Tableau 24 : Simulation 8b, variables macroéconomiques et production ..... 87
Tableau 25 : Simulation 9b, variables macroéconomiques et la production ..... 88
Tableau 26 : Impacts des changements climatiques et mesures d'adaptation sur le bien-être – Québec et zones d'habitation – Variation en % avec la BAU ..... 90

## Résumé

Les forêts québécoises représentent 20 % des forêts canadiennes et 2 % des forêts mondiales. Elles remplissent de nombreux rôles essentiels tels que servir d'habitat à de nombreuses espèces, fournir des biens et des services, engendrer des retombées socioéconomiques ainsi qu'offrir un mode et un milieu de vie pour les Québécois. Qu'il s'agisse des périodes de sécheresse, des étés plus chauds, des hivers moins froids ou de phénomènes plus spécifiques comme la crise du dendroctrone du pin depuis le début des années 2000 en Colombie Britannique, de nombreux phénomènes démontrent la vulnérabilité de la forêt canadienne et québécoise aux changements climatiques (CC). Notre étude compte deux objectifs. Le premier est d'analyser l'impact potentiel des changements climatiques sur l'industrie forestière au Québec et l'économie québécoise. Le second objectif consiste à étudier les effets des programmes et/ou des politiques d'adaptation aux changements climatiques qui pourraient être mis en œuvre par les décideurs publics. Une analyse d'impact distributive a aussi été réalisée. Un cadre d'analyse macro-micro dynamique a été utilisé pour les fins de l'analyse. Les éléments de dynamique ont été intégrés dans un modèle d'équilibre général calculable (EGC) avec dynamique séquentielle et aussi dans un modèle de micro-simulation. Les modèles, qui ont été résolus sur un horizon de 40 années, ont permis d'illustrer les mécanismes de transmission entre les CC et les programmes d'adaptation sur l'économie en général et sur la variation de mesure de pauvreté. Nos résultats montrent que les impacts des changements climatiques sur la foresterie ont très peu d'effet sur les variables macro-économiques même si les branches de l'industrie forestière subissent elles des effets plus importants. Pour l'analyse distributive, les effets courts termes (20 ans) indiquent des effets faibles mais négatifs dans le cas d'un choc de productivité ou d'offre, augmentant la pauvreté en comparaison à la situation du BAU (Business as Usual). Nos résultats de long terme (2050) convergent vers une baisse de la pauvreté dans ses trois dimensions, quelles que soit la simulation et les zones d'habitation. Ceci est également vrai dans le cas de l'analyse de l'inégalité.



**Mots clés :** Analyse distributive, modèle d'équilibre général calculable dynamique, modèle microsimulation, changements climatiques, politiques d'adaptation

**Codes JEL:** C68, D58, I32, O13, Q54, Q56

# 1. Introduction

## 1.1 La forêt du Québec

La distribution de la végétation forestière sur le territoire québécois dépend des facteurs climatiques, de la nature du sol, du relief et des perturbations comme les feux de forêt, les épidémies d'insectes ou de maladies et les coupes. Le domaine forestier de la province s'étend sur sept degrés de latitude et se trouve dans trois grandes zones bioclimatiques présentant chacune des caractéristiques bien particulières. La première zone est la zone tempérée nordique. Elle est dominée par des peuplements feuillus et mélangés. Dans cette zone, on trouve surtout des forêts de feuillus nordiques, dominées par l'érable à sucre, et des peuplements mixtes. Les forêts mélangées renferment à la fois des espèces boréales (sapin baumier, épinette noire) et des espèces méridionales (le bouleau jaune). La seconde, la zone boréale, est caractérisée par des peuplements de conifères sempervirents. Cette zone regroupe la forêt boréale continue, la taïga et la toundra forestière. La forêt boréale continue est constituée principalement des espèces résineuses boréales et des feuillus de lumière. Dans la taïga, les forêts conifériennes dominent alors que les arbustes et les lichens dominent la toundra forestière. Enfin, la zone arctique est marquée par une végétation arbustive et herbacée. Cette zone est caractérisée par l'absence d'arbres, le pergélisol continu ainsi qu'une végétation de toundra essentiellement composée d'arbustes, d'herbacées (des graminoïdes surtout), de mousses et de lichens.

Les forêts sont omniprésentes au Québec et y jouent un rôle important, tant économique, social qu'environnemental. D'abord, elles représentent l'un des principaux moteurs de l'économie de certaines régions du Québec par le biais de l'industrie forestière, un pilier de l'économie québécoise. En effet, plus de 250 municipalités du Québec vivent directement des activités forestières (Gouvernement du Québec-MRN, 2013). En 2012, cette industrie générait quelques 60 900 emplois directs en foresterie et en transformation du bois et on dénombrait 392 usines de première transformation implantées un peu partout au Québec[1] (Gouvernement du Québec-MRNF, 2012). Les forêts permettent aussi la tenue d'activités diverses liés à la faune, notamment la chasse, le piégeage, la pêche et diverses activités de plein-air, responsables d'environ 30 000 emplois au Québec en 2012 (Gouvernement du Québec-MRNF, 2012). Finalement, sur le plan environnemental, les forêts québécoises représentent un important puits de carbone et abritent plus de 200

[1] Composées principalement des industries de sciage, la plupart des industries de la première transformation se retrouve dans les régions de Chaudière-Appalaches, Bas-Saint-Laurent, Estrie, Saguenay-Lac-Saint-Jean et Abitibi-Témiscamingue avec plus de 30 usines. Montréal n'a aucune usine de transformation primaire du bois. (Gouvernement du Québec-MRNF, 2012)

espèces d'oiseaux, 60 espèces de mammifères et une centaine d'espèces de poissons (Gouvernement du Québec-MRNF, 2008).

## 1.2 L'industrie forestière du Québec et ses produits

Comme le montre le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ci-dessous, l'industrie forestière générait plus du cinquième des exportations québécoise en 1994 et celles-ci sont en décroissance depuis pour atteindre 12,7% en 2013 comparé à 6,6% au Canada. Le poids de l'industrie est plus élevé au Québec que dans le reste du pays comme c'est illustré dans le tableau 1. Les exportations étaient au premier rang en 1994 alors qu'elles sont au troisième rang pour la province en 2013 (Statistique Canada 2014).

**Tableau 1 : Exportations de l'industrie forestière pour le Québec et le Canada**

| | | 1994 | 2000 | 2006 | 2013 |
|---|---|---|---|---|---|
| Québec | Valeur des exportations (en million de $CA) | 38621 | 71303 | 69060 | 64421 |
| | Bois et produits dérivés | 6,1% | 6,0% | 5,2% | 3,5% |
| | Pâtes et papier et produits dérivés | 15,1% | 11,9% | 11,6% | 9,2% |
| | **Industrie forestière total** | 21,2% | 17,9% | 16,8% | 12,7% |
| Canada | Valeur des exportations | 212493 | 385679 | 411493 | 443116 |
| | Bois et produits dérivés | 6,8% | 5,2% | 4,2% | 2,9% |
| | Pâtes et papier et produits dérivés | 8,9% | 7,7% | 5,5% | 3,7% |
| | **Industrie forestière total** | 15,7% | 12,8% | 9,7% | 6,6% |

*Les données ont été calculé par les auteurs à partir des données tirées de Statcan Base de données sur le commerce international canadien de marchandises (http://www5.statcan.gc.ca/cimt-cicm/).

Le secteur des produits forestiers est l'une des principales industries manufacturières du Canada et le plus gros exportateur net. Il constitue la pierre angulaire de l'économie, une grande composante de la structure industrielle et une source d'emplois dans toutes les régions du pays (Industrie Canada, 2013).

En considérant le système de classification des industries d'Amérique du Nord (SCIAN), l'industrie forestière québécoise se divise en plusieurs secteurs que sont le secteur du sciage résineux, le secteur du sciage et déroulage de feuillus et le secteur des pâtes, papiers, et cartons. Les deux premiers secteurs sont regroupés sous la bannière « produits du bois » incluant le bois d'œuvre, les panneaux et les produits du bois à valeur ajoutée. Le secteur des pâtes, papiers et cartons regroupe la pâte commerciale, le papier journal, le carton et les produits du papier transformé.

"*Le SCIAN est un système de classification des industries qui a été conçu par les organismes statistiques du Canada, du Mexique et des États-Unis. Créé avec comme toile de fond l'Accord de libre-échange nord-américain, le SCIAN vise à fournir des définitions communes de la structure industrielle des trois pays, ainsi qu'un cadre statistique commun pour faciliter l'analyse des trois économies. Le SCIAN est articulé autour du principe de l'offre ou de production, afin de s'assurer que les données sur les industries se prêtent à l'analyse de questions liées à la production, comme le rendement industriel.*" Le SCIAN est un système de classification des industries qui vise à offrir des définitions communes pour les secteurs industriels canadien, américain et mexicain afin d'assurer que les données statistiques recueillis par les organismes statistiques se prêtent à l'analyse de questions liées à la production (Statistique Canada, 2012). Chaque branche d'activité de l'économie est ainsi repérée par son code. D'après ce système de classification, il y a cinq sous-secteurs qui exploitent ou utilisent le bois dans leur processus de production. Les paragraphes qui suivent décrivent sommairement ces cinq sous-secteurs.

Premièrement, il y a le sous-secteur *foresterie et exploitation forestière*, qui est un sous-secteur de la branche agriculture, foresterie, pêche et chasse. "*Ce sous-secteur comprend les établissements dont l'activité principale est de produire et récolter du bois caractérisé par un long cycle de croissance (dix ans ou plus)*"(Statistique Canada, 2012). Il est aussi caractérisé par les points suivants : il ne nécessite pas une intervention horticole importante avant la récolte, "*la reforestation nécessite la production de semis dans des pépinières spécialisées, la production du bois nécessite des forêts naturelles ou des terres convenables disponibles pendant une longue période et la durée de la maturation du bois dépend des essences forestières, des conditions climatiques régionales et de l'utilisation à laquelle est destiné le bois*" (Statistique Canada, 2012).

Le deuxième sous-secteur utilisant le bois est celui des *activités de soutien à la foresterie* qui est une sous-composante du compte *activités de soutien à l'agriculture et à la foresterie*. Ce sous-secteur "*comprend les établissements dont l'activité principale consiste à offrir des services de soutien particuliers relatifs à la récolte du bois*" (Statistique Canada, 2012b). Parmi ces activités, on a le contrôle des insectes et animaux nuisibles en forêt, l'estimation d'un peuplement forestier, l'inventaire forestier et l'évaluation de la productivité forestière, la lutte contre les incendies de forêt ou le transport de billes en forêt.

Le troisième sous-secteur de l'industrie forestière est la *fabrication de produits en bois*. Celui-ci fait partie de la branche *industrie manufacturière*. "*Ce sous-secteur comprend les établissements dont l'activité principale consiste à fabriquer des produits à partir du bois*"(Statistique Canada, 2012). Elle comprend trois sous-groupes. "*Le premier sous-*

*groupe, scieries et préservation du bois, englobe les établissements qui scient des billes pour en faire du bois de charpente et des produits semblables, ou qui assurent la préservation de ces produits*" (Statistique Canada, 2012). Les scieries jouent un rôle central pour l'ensemble des branches de l'industrie puisque c'est dans ces établissements que les premières transformations sont effectuées sur le bois provenant de la forêt. Ensuite, on a les "*établissements produisant des articles qui améliorent les caractéristiques naturelles du bois, en fabriquant placages, contreplaqués, panneaux en bois reconstitué ou ensembles en bois transformé*" (Statistique Canada, 2012) regroupé sous le nom de *fabrication de placages, de contreplaqués et de produits en bois reconstitué*. Et enfin, le troisième sous-groupe est *la fabrication d'autres produits en bois* pour ceux qui fabriquent divers produits en bois, comme la menuiserie préfabriquée (Statistique Canada, 2012).

Le quatrième sous-secteur est celui de la *fabrication du papier*. "*Ce sous-secteur comprend les établissements dont l'activité principale est la fabrication de pâte à papier, de papier et de produits du papier. La fabrication de pâte consiste à séparer les fibres cellulosiques des impuretés contenues dans le bois, le papier usagé ou d'autres sources de fibres et la fabrication de papier consiste à assembler ces fibres en une feuille. Les produits en papier transformé résultent de diverses opérations de coupe et de façonnage effectuées sur du papier et d'autres matériaux*" (Statistique Canada, 2012). Ce sous-secteur se décompose en deux sous-groupes dont le premier est *usines de pâte à papier, de papier et de carton* qui "*inclut les établissements dont l'activité principale consiste à fabriquer de la pâte à papier, du papier ou du carton, en combinaison ou non avec la transformation du papier*" (Statistique Canada, 2012). Le deuxième sous-groupe inclut les établissements fabriquant des produits en papier à partir de papier et de carton achetés ou recyclés et celui-ci est nommé *fabrication de produits en papier transformé*.

Le cinquième sous-secteur n'est pas toujours considéré comme sous-secteur de l'industrie forestière mais pour les fins de notre étude, nous avons considéré le sous-secteur de la *fabrication de meubles et de produits connexes* dans cette industrie. Celui-ci rassemble les établissements dont l'activité principale consiste à fabriquer des meubles et des produits connexes en bois.

La production de ces cinq sous-secteurs étant liée aux quantités de bois récolté et importé, tout changement affectant la production forestière se répercutera donc sur le niveau de production de ces branches, selon leur structure de production, et par là même sur le reste de l'économie.

## 1.3 Changements climatiques, forêt et foresterie du Québec

Des changements climatiques importants sont attendus, à l'échelle mondiale, en raison de l'accroissement de la concentration de dioxyde de carbone et d'autres gaz à effets de serre dans l'atmosphère terrestre. Ils sont susceptibles d'avoir des effets importants sur les forêts et l'exploitation forestière (Ciesla, 1997). Ces changements modifieront à terme l'amplitude thermique et la longueur des saisons. C'est ainsi qu'au Canada et dans la province du Québec en particulier, on pourrait avoir des hivers plus courts et moins froids avec une diminution de l'accumulation de neige au sol dans le Sud du Québec et une augmentation dans le Nord (Ouranos, 2010). Les changements modifieront également la variabilité et les extrêmes climatiques, dont la fréquence des évènements de sécheresses ou des pluies abondantes (GIEC, 2007). Cette variabilité du climat affectera les forêts.

Les changements climatiques affectent déjà les forêts du Canada. En effet, selon le GIEC, entre 1906 et 2005, la température moyenne globale a augmenté de 0,74$^{o}$ C. Les effets actuels les plus visibles prennent la forme d'une modification de la fréquence et de la sévérité des perturbations naturelles comme les feux, les sécheresses, les tempêtes violentes, les infestations d'insectes et les maladies (Johnston *et al.*, 2010). L'infestation du dendroctone du pin ponderosa dans l'ouest du Canada (en Colombie-Britannique et en Alberta) est considérée comme une manifestation des changements climatiques, ainsi que la récente infestation du typographe européen de l'épinette au Yukon, l'éclosion de la brûlure en bandes rouges dans le nord-ouest de la Colombie-Britannique, le dépérissement du peuplier faux-tremble dans les Prairies et finalement, l'augmentation de la fréquence des feux dans la forêt boréale de l'ouest et au Yukon (Johnston *et al.*, 2010). Avec les changements climatiques, on assistera également à un déplacement et à une modification des feux de forêt suivant les régions. L'influence de la température ou de la longueur des saisons agira sur la croissance, la régénération et la migration des espèces (Weber et Flannigan, 1997). Les scientifiques ont suggéré que les futurs changements climatiques auront des conséquences significatives sur la distribution, l'état, la composition des espèces, et la productivité des forêts (Aber *et al.*, 2001 ; Dale *et al.*, 2001 ; Hansen *et al.*, 2001 ; McNulty et Aber, 2001). Les forêts boréales pourraient tirer profit de ces changements car l'allongement de la saison de croissance et la diminution de la fréquence des épisodes de gel estival en forêt boréale ont un effet bénéfique sur la croissance des arbres dans les régions froides (Gauthier et al, 2008).

Ayant des impacts sur les forêts, les changements climatiques ont déjà ou auront des répercussions sur un grand nombre de valeurs et de composantes associées au secteur forestier du Canada (Johnston *et al.*, 2010). Par exemple, des effets seront observés sur l'aménagement et la productivité des forêts c'est-à-dire *inter alia* sur l'inventaire et la cartographie des forêts, l'estimation de la croissance et du rendement, les calculs de la possibilité forestière et l'approvisionnement en bois. L'impact sur l'aménagement et la

productivité pourrait se répercuter sur la profitabilité de l'industrie forestière puisqu'il faudrait engager des coûts plus élevés pour exploiter la ressource forestière. Les exploitants forestiers verraient ainsi la rémunération du capital investi affecté et par là même, l'emploi, les revenus et le bien-être social des collectivités tributaires de la forêt subiraient les effets des changements climatiques.

À cause de l'interdépendance des différentes sphères de l'économie, l'impact des changements climatique sur la forêt du Québec se répercutera d'abord sur l'industrie forestière et ensuite sur le reste de l'économie. Il est difficile de faire des prédictions précises et sans équivoque sur les effets des changements climatiques à cause de l'incertitude qui s'accumule, notamment sur les plans commerciaux, technologiques et plus globalement dans l'ensemble de l'économie sur le long terme (Johnston *et al.*, 2010).

Notre étude vise à répondre à deux principaux objectifs, en s'appuyant sur un modèle d'Équilibre Général Calculable (EGC) avec dynamique récursive conjointement avec un modèle de micro-simulation de l'économie québécoise intégrant les caractéristiques de son industrie forestière. Le premier objectif est d'analyser l'impact économique du changement climatique sur l'industrie forestière au Québec et sur l'économie québécoise. Le second objectif consiste à étudier les effets de programmes et de politiques d'adaptation aux changements climatiques qui pourraient être mis en œuvre par les décideurs publics. Une analyse d'impact distributif a aussi été réalisée, portant sur les effets induits sur la pauvreté et les inégalités à moyen et long termes. L'impact des changements climatiques sont introduits sur la base d'hypothèses pessimistes et optimistes tirées d'une revue de la littérature et d'une consultation d'experts.

## 1.4 Revue de littérature

Dans la modélisation économique, plusieurs types de modèles sont utilisés. Le plus souvent, on fait la différence entre les modèles microéconomiques et les modèles macroéconomiques. L'analyse microéconomique s'intéresse aux comportements individuels ; elle se réfère à l'entité décisionnelle élémentaire (Boulanger et Bréchet, 2003). Les modèles micro sont donc utilisés pour analyser le comportement des agents économiques. Il peut s'agir d'un agent unique supposé représentatif (le ménage, la firme…) ou encore un continuum d'agents hétérogènes (le consommateur individuel). L'analyse macroéconomique, quant à elle, est faite sur des quantités agrégées. Ces quantités reflètent le plus souvent l'évolution de la structure générale du système économique. Les analyses portent généralement sur le niveau de revenu, l'investissement, la consommation, le chômage, l'inflation, etc. Depuis quelques années, l'aspect environnemental est de plus en plus pris en compte dans les analyses. L'approche macro va tenter d'appréhender le système dans son ensemble (Boulanger et Bréchet, 2003).

Pour réaliser les objectifs de notre recherche nous avons utilisé plusieurs types de modèles (macro et micro) : un modèle EGC avec dynamique récursive qui intègre des composantes microéconomiques et macroéconomiques, un modèle micro-simulation qui est un modèle de nature microéconomique et des outils d'analyse de type micro-économique pour l'analyse distributive. Ce cadre de modélisation offre beaucoup de flexibilité et permet de produire des résultats d'analyse d'impact sur des variables macroéconomiques tout en considérant des spécificités sectorielles microéconomiques et plus particulièrement pour les sous-secteurs de l'industrie forestière. L'utilisation d'un modèle avec dynamique est essentielle dans un contexte où les impacts des changements climatiques s'exerceront sur une longue période de temps. Le modèle micro-simulation a aussi fait l'objet d'ajustements dynamiques afin d'avoir un cadre d'analyse cohérent.

Il est aussi important de souligner que deux bases de données ont dû être construites pour les fins de notre étude. La première est la matrice de comptabilité sociale qui sert de base de données pour le modèle EGC. La matrice de comptabilité sociale a été construite à partir de plusieurs sources de données et celle-ci sera détaillée dans une section subséquente. De plus, nous avons aussi construit une base de données microéconomique des ménages construite à partir de l'enquête dépenses ménages (EDM) 2009 (Statistique Canada, 2009). Cette base de données microéconomique alimente le modèle de micro-simulation utilisé pour réaliser l'analyse distributive.

## 1.5 Les modèles d'équilibre général calculable (EGC)

Les modèles EGC sont des instruments d'analyse que certains appellent l'analyse méso-économique, car étant à mi-chemin entre la microéconomie et la macroéconomie ou combinant les deux. Ils prennent en compte, de façon plus ou moins détaillée, toutes les composantes d'une économie. Contrairement aux autres outils d'analyse tels que l'économétrie qui ne traite que de l'équilibre partiel, c'est-à-dire au niveau d'une branche d'activité ou d'un marché pris isolément, les modèles EGC prennent en compte, d'une part, les comportements des différents agents économiques et les effets de rétroactions sur les divers secteurs et marchés et, d'autre part, les impacts sur les agrégats macroéconomiques, voire le bien-être des populations. Les modèles EGC considèrent que les agents économiques sont des optimisateurs. Ils permettent de traiter les modifications dans l'allocation des ressources, la répartition des revenus qui découle d'un choix de politique économique, à l'échelle d'un pays ou d'un groupe de pays. Ils décrivent le fonctionnement d'une économie à partir des comportements des agents économiques et des contraintes de l'économie. Les modèles EGC sont à l'origine des modèles de statique comparative qui permettent d'analyser le passage d'un équilibre économique à un autre suite à l'application d'une politique économique ou d'un choc exogène. Toutefois, dans un contexte où les politiques économiques ou chocs exogènes ont des effets sur le long

terme, les modélisateurs ont développé des modèles EGC de type dynamique. Nous retrouvons deux types d'EGC dynamiques dans la littérature, à savoir le modèle avec dynamique récursive ou avec anticipation rationnelle. Les modèles à dynamique récursive sont des modèles statiques résolus de manière séquentielle avec des comportements d'optimisation qui se font par période. La dynamique est introduite par l'entremise de la croissance du capital qui est endogène, la croissance de la main-d'œuvre et le progrès technologique. De manière générale, ces deux composantes de la croissance sont exogènes. Le modèle dynamique avec anticipations rationnelles se distingue du modèle récursif par le fait que les consommateurs maximisent la valeur actualisée de l'utilité selon une contrainte budgétaire inter-temporelle avec une anticipation parfaite. D'autre part, les producteurs maximisent le profit actualisé; les firmes tiennent compte dans leurs choix d'investissement des variations futures du salaire et l'investissement dépend des profits anticipés et des prix de la production. La totalité des périodes de cette version est résolue simultanément ce qui implique que ces modèles sont plus difficiles à résoudre dans des versions très désagrégées. Dans la littérature, ces modèles EGC et plus particulièrement les versions dynamiques sont de plus en plus utilisés pour traiter des questions d'économie des ressources naturelles et d'économie environnementale. Pour notre étude, nous avons retenu l'approche EGC avec dynamique récursive car elle offre plus de flexibilité au niveau de l'introduction de comportement microéconomique particulier.

### 1.6 Les modèles EGC et les changements climatiques

La problématique des changements climatiques est abordée par des auteurs dans plusieurs domaines notamment en agriculture avec Bosello et Zhang (2005) ou Zhai, Lin et Byambadorj (2009) ; sur la santé humaine Bosello, Roson et Tol (2006) ou sur la foresterie. Dans le domaine de la foresterie, ces études sont assez récentes et l'une des premières pour le Canada est celle de Van Kooten et Arthur (1989). Ces auteurs ont examiné les avantages du changement climatique sur la forêt boréale du nord du Canada. Dans cette étude, ils ont montré que la productivité espérée de cette forêt, généralement, va s'accroître avec les changements de climat. Par la suite, il y a eu d'autres travaux dont les études de Joyce *et al.* (1995), Perez-Garcia *et al.* (1997), et Sohngen, Mendelsohn et Sedjo (2001) projetant qu'aux États-Unis et au Canada, les changements climatiques entraîneront une augmentation des récoltes de bois, donc de la production des forêts et du stock total des produits forestiers. Dans ces études, une situation avec changements climatiques est comparée à une situation d'absence de changements climatiques. Les auteurs trouvent également que les prix des produits forestiers diminueront avec les changements climatiques, ce qui va concourir à l'amélioration du bien-être des populations. Pour leur part, Sohngen et Sedjo (1998) identifient les sources de dommages potentiels causés aux forêts par les changements climatiques. Or, ils trouvent que les changements climatiques seront susceptibles d'avoir des effets positifs sur les forêts en

général et particulièrement sur les récoltes de bois. Leur étude met en exergue une mesure d'adaptation : la reforestation. En investissant davantage dans la reforestation, l'offre future de bois devient plus importante et les prix plus bas par rapport à une absence de changements climatiques (Sohngen et Sedjo, 1998). En d'autres termes, la reforestation comme moyen d'adaptation permet de maintenir croissante l'offre de bois, contribuant ainsi à faire baisser son prix.

De leur côté, Burton *et al.* (1997) examinent les impacts potentiels des changements climatiques sur le secteur de la production forestière nationale et au sud des États-Unis. Ces impacts économiques sectoriels sont évalués pour ce qui touche à la production, au niveau d'inventaire, au prix et au bien-être économique. Dans cette étude, le bien-être est mesuré par la valeur présente des surplus des consommateurs et des producteurs. Les auteurs utilisent le modèle d'optimisation des secteurs forestier et agricole : *FASOM (forestry and agricultural optimization model*). Le FASOM est un modèle d'optimisation mathématique non linéaire régional, multi secteurs et multi périodes.

Depuis le début des années 2000, de plus en plus d'auteurs se sont intéressés aux impacts économiques des changements climatiques sur la forêt et la foresterie. En 2001, Sohngen, Mendelsohn et Sedjo développent un modèle dynamique de changements écologiques et économiques afin de capturer l'impact des changements climatiques sur le marché mondial du bois. En 2005, Sohngen et Sedjo réduisent l'étendu de la région d'étude. Leur travail examine les problèmes liés aux changements climatiques affectant la forêt en se projetant à l'échelle socioéconomique de l'Amérique du Nord. Les auteurs utilisent quatre scénarios de croissance des forêts basés sur l'application simultanée de deux modèles climatiques mondiaux et deux modèles de processus agricoles. Ils estiment comment la croissance des forêts de base va changer consécutivement aux changements climatiques. Pour ces auteurs, les changements climatiques entraîneront une modification dans l'utilisation des terres entre la production agricole et la production forestière. Dans le scénario canadien, ces changements seront, relativement, plus favorables à la foresterie par rapport à l'agriculture. Nous retrouvons aussi Rive *et al.* (2005), qui utilisent un MEGC avec dynamique récursive incluant un module de foresterie afin d'analyser l'impact des changements climatiques dans l'industrie et les produits forestiers. Un scénario de changements climatiques est développé et comparé avec une situation de référence dans laquelle il y a absence de changements climatiques. Ces auteurs aboutissent au résultat selon lequel dans les régions où les changements climatiques font croître le secteur de la foresterie, la production du secteur et des forêts suivent cette croissance, ce qui entraîne une baisse des prix et une augmentation des exportations de ces produits devenus préférables par rapport aux produits similaires dans les autres régions. Nous avons également les études de Bosello *et al.* (2006, 2007) ; Berrittella *et al.* (2006) ou encore Roson et Van der Mensbrugghe, (2010) qui explorent les impacts

économiques potentiels des changements climatiques. Ces études utilisent en général les MEGC permettant de quantifier les effets spécifiques des changements climatiques.

Plus récemment, une augmentation des études propres au Canada a été observée. Nous avons comme exemple l'étude d'Ochuodho et al., (2012) qui analyse les impacts économiques potentiels des changements climatiques et des mesures d'adaptations sur les forêts de 6 régions du Canada entre 2010 et 2080. Pour une étude faite sur le long terme, les auteurs utilisent un modèle EGC dynamique et trouvent que les changements climatiques auront des effets physiques et économiques importants sur les forêts canadiennes. Ces effets seront variables suivant les régions; au Québec par exemple, l'exploitation forestière, l'industrie forestière et les autres secteurs verront leur production s'accroître de 2%, entraînant ainsi une hausse du PIB du même pourcentage. En 2014, Ochuodho et Lantz., (2014) améliorent leur modèle. Ils utilisent un modèle EGC dynamique récursif multirégional pour estimer les implications des changements climatiques dans les secteurs agricoles et forestiers au Canada et à travers le monde (Canada, les 11 provinces du Canada, les USA et le reste du monde).

Une étude particulièrement intéressante dans le contexte de notre étude, qui porte sur les branches forestières du Québec, est le rapport Marbek et Van Lantz (2010) soumis à la *Table ronde nationale sur l'économie et l'environnement*. Dans ce rapport, les auteurs évaluent les coûts des changements climatiques et de l'adaptation dans le secteur forestier canadien. Dans leur analyse, ils considèrent six régions pour lesquelles sont évalués les impacts physiques sur l'offre de bois (productivité forestière) et économiques des changements climatiques et de l'adaptation. Les auteurs utilisent les résultats d'évaluation qualitative de la gravité de l'incidence des changements climatiques sur l'approvisionnement de bois d'œuvre par région forestière de Lemprière et al (2008). Ces résultats sont importés dans un MEGC dynamique multi-région afin d'évaluer l'impact économique. Une limite de leur modèle est la non-prise en compte de la taxe à l'exportation ni de la demande étrangère, ce qui laisse penser que les producteurs nationaux peuvent vendre indéfiniment leur production sur le marché mondial. Or au Québec, il existe une taxe à l'exportation et seul le bois provenant des forêts privées peut être exporté sans être préalablement transformé. De plus, ils font l'hypothèse qu'une substitution n'est pas possible entre la production destinée au marché domestique et celle exportée, ce qui limite la capacité d'ajustement par rapport à des changements de prix relatifs sur les deux marchés.

Notre étude s'inscrit dans la même ligné que l'étude de Marbek et nous proposons de faire un travail similaire au rapport Marbek et Van Lantz (2010), mais portant uniquement sur la province du Québec. De plus, nous introduisons une composante d'analyse distributive avec l'ajout d'un modèle micro-simulation ainsi qu'une

modélisation plus fine du secteur forestier. Cette modélisation permet de prendre en compte des spécificités du secteur au Québec. Une fonction d'externalité des dépenses en infrastructures est intégrée au modèle afin de pouvoir capter les effets d'un programme d'adaptation aux changements climatiques. Nous avons aussi ajouté une demande d'exportation à élasticité prix finie. Nous présentons les détails de ces spécificités ci-dessous.

## 2. Cadre méthodologique

Rappelons que notre cadre méthodologique est un modèle EGC avec dynamique récursive combiné avec un modèle micro-simulation intégrant aussi des éléments de dynamique. Nous utilisons aussi un cadre d'analyse distributive qui s'appuie sur les indices de pauvreté (Foster, Greer et Thorbecke, 1984). Nous présentons premièrement le cadre comptable ou les bases de données de nos deux modèles avant de passer à la présentation de nos modèles et la méthodologie de l'analyse distributive.

### 2.1 Le cadre comptable : la matrice de comptabilité sociale (MCS)

Les MCS incluent les données de base nécessaires pour l'application d'un modèle EGC. Celles-ci sont construites à partir des tableaux des comptes nationaux et permettent la présentation des comptes du système de comptabilité nationale sous une forme matricielle. De cette façon, la MCS offre une présentation cohérente et complète des transactions qui prennent place dans une économie donnée. Ces transactions sont constituées des flux de revenus par branche d'activité et de la distribution des revenus entre les agents économique (gouvernement, entreprises, ménages, reste du monde et autres institutions). Ainsi, les MCS captent l'interdépendance des branches et des agents dans un système socioéconomique. Dans cette section, nous présentons les principales caractéristiques de la MCS québécoise utilisée pour notre étude. Il est à noter que notre MCS est construite et désagrégée en s'appuyant sur le système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN). Les numéros associés aux différentes branches de production présentées dans le texte se rapportent ainsi à cette classification.
La matrice de base relative à notre étude est construite en partant de la MCS construite par Boccanfuso et al (2014). Ces auteurs utilisent les tableaux d'entrées-sorties symétriques provinciaux pour le Québec datant de 2006 et agrégés au niveau S[2], c'est-à-dire agrégé au code SCIAN à deux chiffres. Or, les matrices ayant ce niveau d'agrégation présentent les données de 25 branches d'activité, ce qui est insuffisant dans le cadre de notre projet. En effet, le niveau d'agrégation S présente une branche nommée *fabrication*,

[2] La matrice de base de Boccanfuso et al (2012) a été utilisé pour une analyse d'impact des infrastructures au Québec. Le niveau de désagrégation S permet de retrouver 25 branches de l'économie et est très désagrégé. Cette classification correspond à une désagrégation à 2 chiffres du système harmonisé de comptabilité national ou du système SCIAN.

qui regroupe l'ensemble des branches de production industrielle de l'étendue SCIAN 31 à 33. Cette étendue SCIAN rassemble des productions aussi variées que la fabrication d'aliments, la fabrication de produits chimiques et la fabrication de produits informatiques. En effet, la branche *fabrication* représente l'ensemble des *« établissements dont l'activité principale est la transformation de matières ou de substances en nouveaux produits par des procédés chimiques, mécaniques ou physiques »* (Statistique Canada, 2009). Or, notre étude s'intéressant aux industries du secteur forestier en particulier, les branches *fabrication de produits en bois* (SCIAN 3212), *scieries et préservation du bois* (SCIAN 3212), *fabrication du papier* (SCIAN 322) et *fabrication de meubles et produits connexes* (SCIAN 337) doivent être distingué du regroupement global nommé *fabrication*. De plus, la branche *activités de soutien à la foresterie* (SCIAN 1153), importante pour notre étude, doit aussi être extraite de la branche activités de soutien à l'agriculture et la foresterie pour avoir la branche de soutien à la foresterie dans notre MCS. Par conséquent, des modifications ont été apportées à la matrice de base du Québec de Boccanfuso *et al.* (2012) pour faire apparaître les branches citées ci-dessus. Pour ce faire, la recherche de données secondaires était nécessaire puisque les données réelles sont confidentielles chez Statistiques Canada. L'exercice de désagrégation consiste donc à retrouver dans la littérature des indices et données pertinentes qui permettent la désagrégation des sous-branches dans l'ensemble de la MCS. Les principales sources utilisées pour faire cette désagrégation ont été : les tableaux et enquêtes de la base CANSIM de Statistiques Canada notamment le tableau 381-0009 pour les entrées et sorties, le tableau 381-0010 pour la demande finale, le tableau 301-0006 concernant les statistiques principales pour les industries manufacturières et le tableau 386-0002 pour les flux du commerce, interprovincial et international. La publication annuelle par le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du document " Ressources et industries forestières" a aussi été très utile pour postuler nos hypothèses.

## 2.2 La base de données du modèle micro-simulation

Pour construire la base de données utilisée avec le modèle micro-simulation, nous sommes partis de l'Enquête sur les dépenses des ménages (EDM) de 2009. L'intérêt de cette enquête est qu'elle possède des renseignements détaillés sur les dépenses des ménages, informations nécessaires pour pouvoir relier le modèle d'équilibre général calculable au module micro-simulation. L'enquête complète est constituée de 16 758 ménages répartis dans 10 provinces canadiennes. Notre échantillon se compose de 1 275 ménages québécois représentant 3 321 748 ménages à l'échelle de la province.

L'enquête a permis de décomposer les dépenses des ménages de manière à retrouver l'ensemble des branches disponibles dans la matrice de comptabilité sociale et notamment les activités en lien avec le secteur forestier. En procédant de la même manière, nous avons identifié les revenus, l'épargne et les transferts des ménages,

l'Enquête sur les dépenses des ménages possédant également un module issus de données administratives[3]. Sans être parfaitement balancée, nous obtenons une base microéconomique cohérente avec les informations macroéconomiques contenues dans la matrice de comptabilité sociale.

## 2.3 Les modèles

### 2.3.1 Le modèle EGC en version statique

Cette section présente les caractéristiques principales du modèle EGC de base utilisé pour l'analyse, qui s'appuie sur le modèle utilisé dans Boccanfuso *et al.* (2014), auquel différentes modifications ont été apportées afin de représenter les caractéristiques principales de l'industrie forestière québécoise. Nous présentons le modèle statique du modèle avant de passer aux composantes introduisant la dynamique. Nous utilisons un modèle à dynamique récursive, donc sans anticipation rationnelle des agents sur le long terme. Nous abordons la présentation du modèle en six blocs, soit production, revenus-épargnes, demande finale intérieure, commerce extérieur, prix et équilibre. À ces six blocs principaux s'ajoute deux autres blocs représentant des caractéristiques particulières du modèle, soit la modélisation du secteur forestier et l'intégration de la cogénération[4].

### 2.3.2 Caractéristiques principales du modèle

Notre modèle compte quatre catégories d'agents, soit un ménage représentatif, une entreprise, l'État et le reste du monde. Trente branches de production sont modélisées, conformément à notre MCS. Les facteurs de production sont le travail, parfaitement mobile entre les branches de production, et le capital, fixe par branche de production dans le modèle statique. Nous considérons l'économie québécoise comme une petite économie ouverte au niveau mondial et la fermeture du modèle est de type classique[5].

### 2.3.3 La production

La production est représentée par une fonction emboîtée multi-niveaux. Au niveau supérieur, la production totale (*XS)* des branches de production est composée de la valeur ajoutée (*VA)* à laquelle s'ajoutent en complémentarité parfaite les consommations intermédiaires (*CI)* provenant des autres branches de production. Au niveau inférieur, la

[3] Pour plus d'information sur l'Enquête sur les dépenses des ménages, voir http://www23.statcan.gc.ca/imdb/p2SV_f.pl?Function=getSurvey&SurvId=43837&InstaId=64630&SDDS=3508.

[4] La présentation par bloc est simplement pour faciliter la présentation mais le modèle constitue un seul bloc d'équations.

[5] La fermeture de type classique implique que l'investissement privé est déterminé par le niveau d'épargne.

valeur ajoutée est constituée du travail (*L)* et du capital (*K)*, reliés ensemble par une fonction de type Cobb-Douglas. Cette fonction de production est celle utilisée dans le modèle EXTER de Décaluwé et al. (2001) et est utilisée dans notre modèle pour l'ensemble des branches de production à l'exception de la branche *foresterie et exploitation forestière* qui présente des caractéristiques particulières, présentées ci-après.

### 2.3.4 Revenus-épargnes

Le revenu du ménage (*YM)* est la somme des salaires, revenus du capital, dividendes et différents transferts provenant du reste du monde et du gouvernement. Nous obtenons le revenu disponible (*YDM)* en retranchant les taxes directes et les transferts au reste du monde et aux entreprises du revenu du ménage. L'épargne du ménage est une proportion fixe (la propension marginale à épargner) du revenu disponible. Le revenu de l'entreprise (*YE)* est composé d'une proportion fixe des revenus du capital ainsi que des transferts provenant de l'État et des ménages. L'épargne de l'entreprise est calculée de façon résiduelle, en soustrayant les dividendes et les taxes de leur revenu total.

En ce qui concerne le revenu de l'État (*YG)*, il est constitué de la somme des recettes fiscales, provenant de l'ensemble des taxes directes et indirectes, des tarifs douaniers et des taxes à l'exportation, auxquelles s'ajoutent les transferts provenant du reste du monde et une part des revenus du capital. L'épargne de l'État est calculée de façon résiduelle, en soustrayant ses dépenses et les transferts aux entreprises et aux ménages de son revenu total.

### 2.3.5 Demande finale intérieure

La demande finale intérieure est composée de la consommation des ménages et de l'État, de la demande des entreprises en biens intermédiaires et de la demande d'investissement. En ce qui concerne la consommation des produits marchands par les ménages, elle est représentée une fonction de demande dérivée d'un processus de maximisation d'utilité sous contrainte budgétaire du ménage. La forme fonctionnelle retenue pour la fonction d'utilité est une fonction d'utilité de type Cobb-Douglas. De son côté, la consommation de l'État ou dépense publique est exogène et correspond à la totalité de la production du secteur non-marchand. Pour la demande des consommations intermédiaires, elle est obtenue en sommant la demande de chaque branche pour un bien ou service donné. Finalement, la demande d'investissement en différents produits suppose une élasticité de substitution unitaire entre les différents produits qui la compose. L'investissement inclut la formation brute de capital fixe ainsi que la variation des stocks.

### 2.3.6 Commerce extérieur

Le 4ème bloc d'équations concerne le commerce extérieur. Étant donné que l'économie québécoise commerce avec le reste du monde (incluant le reste du Canada), le modèle nécessite l'intégration de demande d'importations et d'une offre d'exportations. Ainsi, le producteur affecte une proportion variable de sa production à l'exportation (*EX)* ou au marché intérieur (*D)*. Cette répartition est représentée par une fonction à élasticité constante de transformation (CET). L'offre d'exportation est obtenue par un processus de maximisation des revenus sur les deux marchés sous contrainte de la fonction de transformation (CET). Avec cette modélisation, les producteurs locaux ne peuvent écouler toute leur production sur le marché extérieur. De plus, nous avons introduit une demande mondiale pour les biens exportés. Pour accroître leur part de marché, les producteurs québécois doivent réduire leur prix d'exportation par rapport au prix mondial. Dès lors, il existe une relation inverse entre la quantité demandée à l'exportation et le prix du produit tel qu'il est facturé aux acheteurs étrangers, pour un prix mondial donné. La demande d'exportation a donc une élasticité-prix finie.

Par ailleurs, les consommateurs domestiques peuvent acheter les biens et services sur le marché domestique (*D)* ou sur les marchés étrangers en biens et services importés (*M)*. Pour ce faire, la demande d'importation respecte l'hypothèse d'Armington (1969), ce qui signifie que la substitution est imparfaite entre le produit domestique et le produit importé, et cette substitution est captée par une fonction à élasticité constante de substitution (*CES*). Les demandes sont dérivées par un processus de minimisation des coûts d'achat sous contrainte des préférences représentées par la fonction (*CES*). Finalement, l'hypothèse du petit pays ouvert étant posée, les prix mondiaux des biens importés et exportés sont exogènes et fixés par le reste du monde.

### 2.3.7 Les prix

D'abord, les prix du marché des produits (*Pq)* est défini par une moyenne pondérée du prix du produit importé (*Pm)* et du prix domestique du bien produit localement (*Pd)*. Ce prix composite (*Pq)* est déterminé par l'équilibre de l'offre et de la demande sur le marché intérieur. Le prix d'un produit importé correspond au prix mondial du produit (*Pwm)*, ajusté selon le taux de change (*e)*, les taxes et les droits de douanes.

Par ailleurs, les prix au producteur (*P)* sont composés du prix domestique (*Pd)* et des prix à l'exportation (*Pe)*, ces derniers étant constitués des prix mondiaux, ajustés avec le taux de change (*e)* et les taxes à l'exportation. En retirant ensuite la valeur des consommations intermédiaires à la valeur de la production totale, on retrouve le prix de la valeur ajoutée (travail et capital), représenté par $PVA_{nfore}$, pour les secteurs non forestiers et $PKL_{fore}$ pour le secteur forestier. Le prix de la valeur ajoutée est une

moyenne pondérée de la rémunération du capital (*r)* et de la rémunération du travail ( *s)*. Pour le secteur forestier (récolte du bois), un prix de production supplémentaire est inséré et se note (*Pw)*. Ce prix de production pour le secteur forestier est déterminé à partir de la valeur de la production, divisée par le volume de production.

### 2.3.8 Les équilibres

Les équations d'équilibre des différents marchés sont essentielles au modèle. L'équilibre sur le marché des produits implique que la production de chacune des branches est égale à la demande, composée de la consommation, l'investissement et la demande en biens intermédiaires. Comme nous l'avons indiqué ci-dessus, l'équilibre s'obtient par un ajustement du prix du marché (*Pq*). L'équilibre sur le marché du travail est représenté par l'égalisation de l'offre de travail et la demande de travail. L'équilibre est réalisé par un ajustement du salaire (*s*). La balance des opérations courantes représente l'équilibre de l'offre et la demande avec le reste du monde. L'équilibre s'obtient par un ajustement du taux de change nominal. Finalement, l'investissement est égal à l'épargne et tel que spécifié plus haut, le niveau d'investissement est déterminé par le niveau d'épargne.

### 2.3.9 Foresterie et exploitation forestière

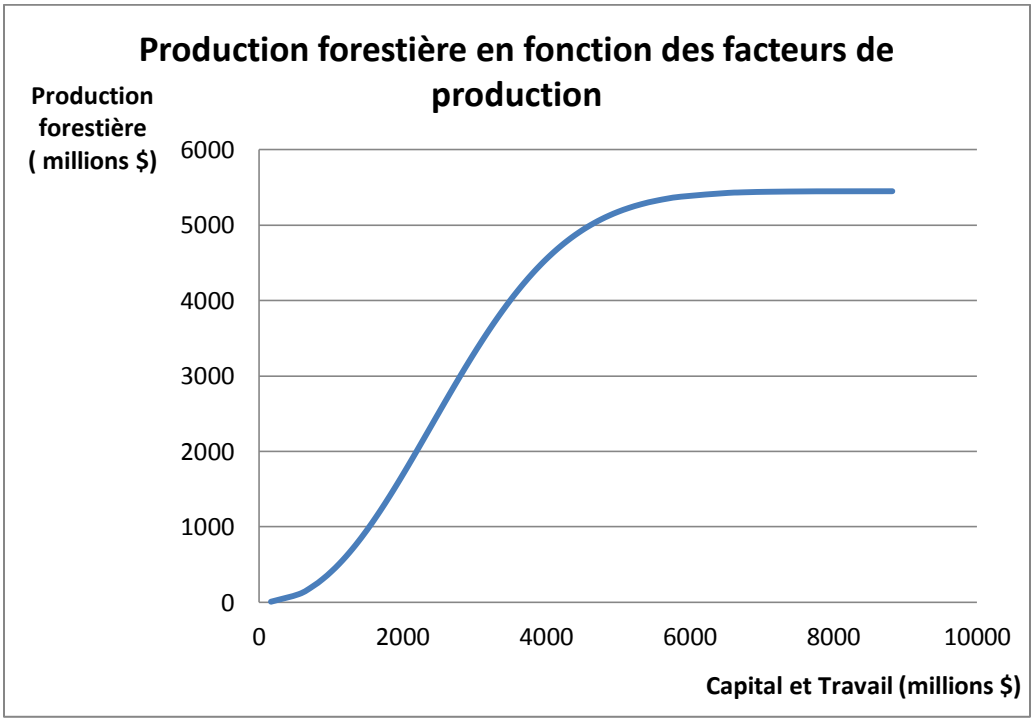
Comme nous l'avons indiqué ci-dessus, nous avons dû apporter plusieurs modifications au modèle de base du Québec de Boccanfuso *et al* (2014) et ces modifications touchent principalement les branches en lien avec l'industrie forestière du Québec et plus particulièrement la branche *foresterie et exploitation forestière*. En effet, la production forestière est au centre même de notre analyse et par conséquent, les modifications visent à intégrer les particularités de ce secteur, notamment l'existence d'un stock de ressources forestières représentant la capacité maximale de l'écosystème et les rendements d'échelle variables. Pour capter ces deux caractéristiques, une fonction de type *Weibull* est intégrée dans le modèle macroéconomique statique comme fonction de production de la branche *foresterie et exploitation forestière*. La fonction *Weibull* possède deux caractéristiques principales, soit la représentation d'une capacité maximale de production via une asymptote ainsi que la représentation d'une productivité marginale variable selon deux stades de production. Une productivité marginale variable permet ainsi de représenter une ressource plus difficile à atteindre, générant des coûts marginaux croissants dans l'exploitation à partir d'un point d'inflexion dans la fonction. Cette relation est représentée par la fonction suivante :

$$\textbf{(1)} \qquad XS_{fores} = \psi\left(1 - e^{-\left(\frac{Klc}{\phi}\right)^{\delta}}\right)$$

où $XS_{fores}$ représente la production forestière en valeur, $\psi$ représente l'asymptote de la fonction, soit la disponibilité maximale de ressources (en valeur) et *Klc* est le facteur de production composite regroupant la valeur du capital et du travail, reliés par une fonction Cobb-Douglas puis couplé aux consommations intermédiaires en proportions fixes. Finalement, les paramètres $\delta$ et $\phi$ ϕreprésentent la capacité technologique et déterminent la forme de la fonction. L'ensemble de la fonction a été calibrée de façon à représenter les caractéristiques principales du secteur forestier. De cette façon, le paramètre $\delta$, qui représente le niveau par rapport à l'ordonnée où nous obtenons le point d'inflexion. Ce point d'inflexion permet de représenter les coûts marginaux variables. Ceux-ci sont présents car les coûts fixes sont élevés pour l'exploitation de la ressource, ce qui génère des rendements croissants sur une partie importante de la production jusqu'au point d'inflexion et par la suite, les rendements sont décroissants.

De plus, nous captons la contrainte maximale de ressources disponibles à un moment donné (période de résolution du modèle). Ce niveau maximal est le volume annuel de bois maximal que l'on peut prélever sur le territoire d'une aire forestière donnée sans en diminuer les capacités de production (Gouvernement du Québec-MRN, 2012). Nous représentons ce niveau maximal ou asymptote avec la fonction *weibull* et celle-ci est représentée par le paramètre $\psi$. Il est calibré de façon à représenter le niveau maximal de ressource à 47,2 $Mm^3$ (Gouvernement du Québec MNRF, 2008).

**Figure 1. Fonction de production forestière**

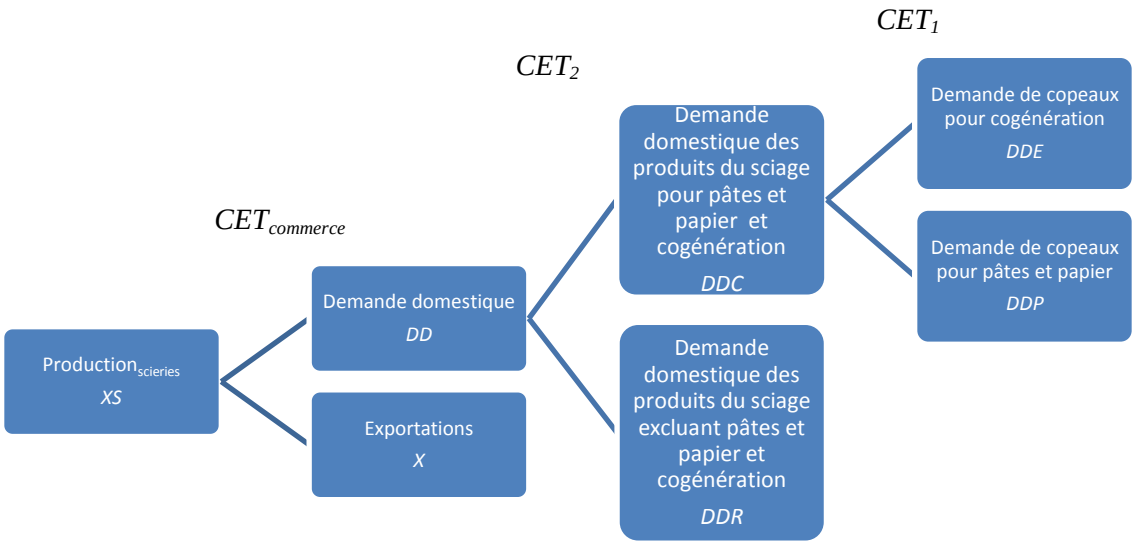


### 2.3.10 Cogénération

Une dernière caractéristique importante du secteur forestier québécois est la possibilité d'utiliser un sous-produit de l'industrie du sciage, les copeaux, dans la production de pâtes et papiers ou dans la production d'énergie, la cogénération. L'allocation des copeaux vers l'une ou l'autre de ces productions est liée au prix de vente de chacune des productions. En ce sens, un prix élevé pour l'énergie engendre une consommation de copeaux plus importante dans le secteur de l'énergie, au détriment de la consommation de copeaux pour les pâtes et papiers. La modélisation standard des consommations intermédiaires en part fixe ne permet pas de capter cette caractéristique de l'industrie. De ce fait, nous avons apporté la modification suivante afin de capter cette spécificité dans le modèle en introduisant des fonctions à élasticité constante de transformation à la branche de production scierie.

De cette façon, la production de copeaux par les scieries est, dans un premier temps, captée par la fonction à élasticité constante de transformation (CET) relative au commerce international, qui détermine la part acheminée vers l'exportation et celle demeurant sur le marché domestique (voir le point 5 de la présente section). Dans un deuxième temps, l'ensemble des produits de l'industrie du sciage qui se retrouvent sur le marché domestique sont séparés en deux par une autre CET, divisant ainsi les produits ciblés par la modification (ceux se dirigeant vers les pâtes et papiers et cogénération) et ceux qui ne sont pas concernés (tels que le bois d'œuvre et les placages). Finalement, les produits du sciage concernés par les pâtes et papier et la cogénération sont soit achetés comme consommation intermédiaire pour la fabrication de pâtes et papiers, soit comme consommation intermédiaire pour la cogénération. Cette division est captée par une autre CET. La figure 2 présente la structure complète de l'allocation de la production des scieries. La CET divisant les copeaux entre la cogénération et les pâtes et papier présente une élasticité élevée, représentant la sensibilité de l'allocation par rapport au prix.

**Figure 2. Structure de l'allocation des produits du sciage**




### 2.3.11 La dynamique du modèle

L'application d'un modèle EGC avec dynamique récursive implique dans un premier temps d'introduire des variables d'accumulation qui vont contribuer à la croissance économique dans le modèle. Le modèle statique est donc résolu pour la deuxième période en utilisant comme variable de départ la solution de la première période et la dynamique s'installe avec les variables d'accumulation. Les boucles sont répétées à plusieurs reprises et dans notre cas, nous utilisons 39 boucles en plus de la première période de résolution, pour un total de 40 périodes, chaque période représentant une année.

Les trois facteurs contribuant à la croissance économique sont les mêmes que dans les modèles de croissance de macroéconomie. Celles-ci sont le capital, la main d'œuvre et le progrès technologique. Dans un modèle dynamique, nous devons aussi prendre en considération l'évolution de l'endettement qui n'a pas d'importance particulière dans un modèle statique. Nous présentons dans cette section, les équations qui permettent de prendre en compte la dynamique de ces variables. Nous pouvons déjà indiquer que le progrès technologique ne contribue pas à une croissance endogène au modèle et servira à calibrer le sentier de croissance de référence que nous appellerons de scénario de référence ou *business as usual* (BAU). La croissance de la main-d'œuvre ne sera pas endogène mais fixé au niveau de croissance de la population du Québec autour de l'année de référence en 2009. Le niveau retenu est tirée des données de l'ISQ (2013) à 0,7% par

année. Pour ce qui est du capital, celui-ci va croître de manière endogène et va dépendre principalement du niveau d'épargne privée dans l'économie (*It*) à la période précédente de laquelle nous déduisons une part qui est consacrée à la variation des stocks ($\mu$) dans l'économie et nous convertissons cette valeur en un volume d'investissement en divisant par le prix de l'investissement. Ce niveau d'investissement, en volume, est déterminé par l'équation 2, ci-dessous :

$$\textbf{(2)} \qquad Itvot = \left( \frac{It\mu}{Pk} \right)$$

Le prix de l'investissement (*Pk*) est une somme pondérée du prix de chacun des biens d'investissement par origine (type de bien d'investissement) :

$$\textbf{(3)} \qquad Pk = \sum_i \delta_i^{inv} PqInv_i$$

où $\delta_i^{inv}$ est la part du bien i dans l'investissement total. Pour sa part, la destination de l'investissement ($Ind_{i,t}$) est déterminée en fonction principalement du rendement du capital ($r_{i,t}$) dans le secteur de destination et la part relative à la période de référence ($\pi_i$). Le niveau d'investissement par destination est représenté par l'équation suivante :

$$\textbf{(4)} \qquad Ind_{i,t} = \pi_i \left( \frac{r_{i,t}}{U_t} \right)^{\xi_t} Kd_{i,t-1}$$

Cet investissement par destination vient s'ajouter au capital disponible à la période précédente ($Kd_{i,t-1}$) moins la dépréciation du capital ($\delta$) pour déterminer le niveau de capital disponible par secteur pour la période et cette croissance du capital est déterminée par l'équation suivante :

$$\textbf{(5)} \qquad Kd_{i,t} = (1-\delta) Kd_{i,t-1} + Ind_{i,t}$$

où $Kd_t$ est le stock de capital disponible en période t qui contribuera à la valeur ajoutée et à la production pour chacune des branches de production marchandes.

L'autre facteur contribuant à la croissance est la croissance de la main-d'œuvre ($Ls_t$) et celle-ci est déterminée par l'équation suivante:

$$\textbf{(6)} \qquad Ls_t = (1+n) Ls_{t-1}$$

où *n* est le taux de croissance de la population et $Ls_{t-1}$ est le niveau de main-d'œuvre à la période précédente. Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, le *n* utilisé provient des données de l'*Institut de la Statistique du Québec* pour la population en âge de travailler

pour la période de 2006-2011[6]. Comme c'est généralement le cas dans les modèles EGC dynamique, le progrès technologique est utilisé pour calibrer un taux de croissance du PIB réel de l'économie Québécois sur la durée des 40 ans de résolution du modèle. Le niveau retenu pour la croissance du PIB est de 2% ce qui est représentatif du taux de croissance des dix dernières années au Québec. De plus, il est important de rappeler que ce taux de croissance permet de calibrer un scénario de référence (business as usual-BAU). Les simulations effectuées seront alors comparées à ce scénario de référence. Le niveau exact des variables ne jouera pas de rôle dans l'analyse des simulations mais l'objectif est quand même de tenter de reproduire une tendance historique pour l'économie analysée.

Les variables exogènes du modèle vont aussi croître mais le niveau de croissance pourra varier selon la nature de la variable. Premièrement, la croissance des dépenses publiques est de 2,4% ce qui représente le niveau de croissance réelle des dépenses publiques depuis 2 ans. Il y a donc une croissance des dépenses publiques plus rapide que le taux de croissance du PIB. Nous posons l'hypothèse que les autres variables exogènes du modèle vont croître au même taux que la croissance de la population ce qui revient à supposer que ces variables seront constantes si elles sont exprimées en per capita. Nous avons aussi imposé que le niveau d'endettement du gouvernement reste constant dans le temps. Ceci évite de générer une croissance de l'économie ou du bien-être par l'entremise d'un endettement. Pour les mêmes raisons, nous imposons que la balance des opérations courante soit fixe et croisse au même taux que la croissance de la population.

### 2.3.12 Modélisation des externalités des infrastructures publiques

La première tentative de modélisation d'externalités de production dans les modèle EGC recensée remonte à de Melo et Robinson, 1990. Intuitivement, puisqu'il faut traduire des gains de productivité découlant des investissements publics, nous devons intervenir au niveau de la fonction de valeur ajoutée ($Va_i$) de l'équation 7. C'est là où nous pouvons influencer la productivité de la main d'œuvre ($Ld_j$), du capital ($Kd_j$) et de la productivité totale des facteurs-PTF ($A_i$) et ou le $\alpha_i$ et le paramètre de répartition de la fonction Cobb-Douglass ci-dessous :

$$\textbf{(7)} \qquad Va_i = A_i Ld_i^{\alpha_i} Kd_i^{(1-\alpha_i)}$$

Pour faire le lien positif entre l'augmentation du capital public et la productivité de la main d'œuvre et du capital, en général les auteurs introduisent un paramètre multiplicatif de productivité $\Omega_i$ à l'équation [7] pour obtenir l'équation de valeur ajoutée suivante :

[6] La valeur de l'ISQ était de 0.67% et nous avons arrondi à 0,7% pour la calibration du modèle. Http://www.stat.gouv.qc.ca/docs-hmi/statistiques/population-demographie/index.html

$$\textbf{(8)} \qquad Va_i = \Omega_i A_i L d_i^{\alpha_i} K d_i^{(1-\alpha_i)}$$

Par la suite, les auteurs utilisent différentes approches de modélisation afin de produire un impact positif des dépenses publiques sur la fonction $VA_j$. Pour cette application, nous utilisations l'approche proposée par Savard (2010) représenté par l'équation [9]) suivante :

$$\textbf{(9)} \qquad \Omega_i = \left( \frac{Kg_t}{Kg_{t-1}} \right)^{\xi_i}$$

où le paramètre de productivité ($\Omega_i$) est fonction du ratio du capital public en période $t$ ($Kg_t$ ) divisé par le stock de capital public à la période précédente ($Kg_{t-1}$ ) et $\xi_i$ est l'élasticité sectorielle. Avec cette fonction le maintien du stock de capital ne modifie pas la productivité sectorielle alors qu'une augmentation par rapport à la période précédente aura un effet positif. Le stock de capital public est déterminé par l'équation suivante:

$$\textbf{(10)} \qquad Kg_t = Kg_{t-1}(1+g_{kg})^t(1-\delta_g)^t + ITG_{t-1}(1-\delta_g)^{t-1}$$

où $g_{kg}$ est le taux de dépenses publiques normal pour maintenir le stock de capital constant et $\delta_g$ est le taux de dépréciation du capital et finalement, $ITG_{t-1}$ est le niveau de dépense du programme d'investissement en infrastructure de la période précédente. De l'équation 9, nous remarquons que l'effet de productivité dépend aussi de l'élasticité des investissements ($\xi_j$). Nous attribuons une élasticité spécifique à chacun des secteurs ($\xi_j$). Des élasticités canadiennes sectorielles tirées de Harchaoui et Tarkhani (2003) sont utilisées dans le modèle. Avec cette modélisation, une augmentation de $\Omega_i$ représente un choc de productivité neutre au sens de Hicks tel que modélisant dans Yeaple and Golub (2007).[7] Avec cette approche, les investissements en infrastructure peuvent être une source d'avantage comparative car l'élasticité est spécifique à chaque secteur.

### 2.3.13 Le modèle micro-simulation

Les modèles de micro-simulation (*MS*) sont des outils d'analyse qui permettent de simuler les effets d'une réforme donnée de la politique économique sur un échantillon d'agents (individus ou ménages) au *niveau individuel.* Ils sont fondés sur la représentation des contraintes économiques et institutionnelles spécifiques auxquelles est confronté un agent. C'est Orcutt (1957) qui a été le premier à proposer cette approche de modélisation. La simulation d'une politique consiste à évaluer les effets du changement qu'elle induit sur les contraintes auxquelles sont soumis les agents du modèle sur un

[7] Cette formulation et aussi utilise dans les études économétriques mesurant les effets de productivité des dépenses en infrastructures publiques telle que Ashauer (1989), Gramlich (1994) et Dessus et Herrera (1996).

certain nombre d'indicateurs, de leur activité et de leur bien-être. C'est un outil d'analyse plutôt ancien mais sa diffusion s'est faite surtout à la fin des années 80 avec le développement de la puissance informatique. Ils sont fondés sur la représentation des contraintes économiques et institutionnelles spécifiques auxquelles est confronté un agent. La grande force de cette approche de modélisation pour l'analyse d'impact est sa grande flexibilité à introduire de l'hétérogénéité au niveau des ménages ou individus. Ceci peut se faire tout à obtenant des résultats au niveau agrégé pour prendre en compte l'effet sur le budget et dépenses du gouvernement. Cette hétérogénéité permet d'identifier les gagnants et les perdants et prendre en compte l'économie politique d'une réforme. De plus, l'analyse désagrégée des effets redistributifs d'une réforme permet d'évaluer les coûts et bénéfices de cette réforme en termes de bien-être social et donc d'intégrer à l'évaluation des considérations d'équité et de justice sociale.

Les modèles MS contiennent trois éléments : i) Base de données micro qui est un échantillon représentatif d'agents (ménages ou individus), ii) Contraintes économiques (internes à savoir les dotations en facteurs et externes tel que l'impôt sur le revenu), iii) modèle théorique de comportement (Bourguignon et Spadaro 2003). Les économistes et statisticiens canadiens ont perpétué une longue tradition de cet outil (par exemple, le modèle DYNACAN du ministère des ressources humaines et développement des connaissances Canada et le modèle BD/MSPS de Statistique Canada). Toutefois, cet outil d'analyse a été très peu utilisé au Québec.

Il y a deux principales catégories de modèles micro-simulation à savoir les modèles de type comptable et les modèles avec comportement. Les modèles de type comptable sont essentiellement de grandes bases de données de ménages où sont détaillés de manière désagrégée les sources de revenus, la fiscalité, les dépenses, les transferts et l'épargne. Le deuxième type de modèle micro-simulation intègre des comportements d'individu ou ménage et sont généralement estimés économétriquement. Ce sont généralement les comportements d'offre de travail, de consommation et d'épargne qui sont modélisés. Les modèles MS peuvent aussi être classés en modèles statiques ou dynamiques. Ces derniers intègrent la notion de temps.

Selon Davies (2009), ces modèles sont très utilisés pour l'analyse d'impacts car ils permettent de mettre en œuvre une analyse d'impact distributive très détaillée de par la richesse des données. Ces modèles sont dits d'équilibre partiel car les prix sont généralement exogènes au modèle et servent à effectuer des simulations. Depuis une dizaine d'année, les économistes ont commencé à lier ces modèles micro-simulation d'équilibre partiel à des modèles EGC. Deux exemples de ce type d'application sont Savard (2003) et Cury *et al.* (2010) où ils introduisent des comportements d'offre de travail dans le modèle micro-simulation.

Pour notre étude, nous avons utilisé un modèle micro-simulation avec comportement limité où nous n'estimons pas de modèle d'offre de travail ou de fonction de consommation mais utilisons une fonction de revenus complète et une fonction de dépense dérivée d'une fonction d'utilité de type Cobb-Douglas. Nous supposons aussi que la propension marginale à épargner est exogène mais ce niveau d'épargne joue un rôle important dans la dynamique du modèle qui est expliqué ci-dessous. Comme nous l'avons expliqué dans la section 2.2, nous avons construit la base de donnée ménage à partir de l'enquête EDM et cette base de donnée compte 1275 ménages pour le Québec. Le modèle est résolu de manière séquentielle avec en premier, le calcul du niveau de revenu hors taxe, puis le revenu disponible avant de passer au calcul des consommations du ménage ainsi que son épargne. Nous complétons la résolution avec le calcul de la variation équivalente qui permet de mesurer le changement de bien-être. La variation de bien-être permet de prendre en compte l'effet de la simulation sur le revenu disponible du ménage ainsi que l'impact sur le panier de consommation. L'effet prix et l'effet revenu de la simulation est donc prise en compte pour chacun des ménages de notre modèle. Nous utilisons par la suite, ce changement dans la variation équivalente comme mesure du changement de bien-être des ménages. Ce changement de la variation équivalente est appliqué au niveau de revenu disponible qui lui est utilisé comme proxy pour le niveau de bien-être du ménage à la période de référence, pour obtenir un niveau de bien-être post simulation.

### 2.3.14 La dynamique du modèle micro-simulation

Il existe très peu d'application de modèle EGC avec dynamique récursive et des modèles micro-simulation. Un des rares exemples est Annabi et al (2005) et dans leur travail, ces auteurs n'introduisent pas de dynamique dans leur modèle micro-simulation et font simplement une attribution proportionnelle de la croissance en facteur travail et capital aux ménages du modèle MS. Ils ne tiennent donc pas compte de caractéristiques des ménages dans le processus de croissance de capital et main-d'œuvre. Dans notre modèle micro-simulation, nous utilisons une fonction où le taux d'épargne à l'année de référence qui nous permet d'attribuer la croissance du capital aux ménages du modèle MS.

De plus, nous prenons en compte l'évolution démographique de la population. Pour réaliser ceci nous effectuons un exercice de repondération visant à reproduire les changements démographiques que devrait connaître le Québec d'ici 2050. Pour faire ceci, nous nous sommes appuyés sur les hypothèses d'évolution basées sur la tendance moyenne selon le genre et le groupe d'âge, développées par l'ISQ[8]. La méthodologie utilisée est basée sur Deville et Sarndal (1992) et consiste à calibrer les données à partir

[8] Cf. Population selon le sexe et le groupe d'âge, scénario A - Référence, ensemble du Québec, 2006-2056.

d'agrégat externes, la taille de la population par groupe d'âge et par sexe dans notre cas[9]. Après transformation, notre échantillon représente 3 930 621 ménages à l'échelle de la province en 2029 (+18,33% par rapport à 2009) et 4 198 411 en 2050 (+26,39% par rapport à 2009).

### 2.3.15 La méthodologie pour l'analyse distributive

Pour réaliser l'analyse de pauvreté et d'inégalité, nous avons choisi une approche dite empirique. Elle ne nécessite pas de postuler une distribution statistique et consiste à opérer un lissage à partir des données observées. C'est l'approche choisie par Cockburn (2006) et reprise dans Boccanfuso et Savard (2007). Cette analyse a été faite à l'aide du logiciel STATA. De plus, nous privilégions ici les indices usuels de pauvreté de FGT – Foster, Greer et Thorbecke (1984), étant donné que ces indices sont décomposables et additifs. Ils permettent de prendre en compte plusieurs dimensions de la pauvreté selon le degré d'aversion attribué aux pauvres (mesuré par la valeur d'un paramètre $\alpha$). Il s'agit de l'incidence pour $\alpha=0$, de la profondeur pour $\alpha=1$ et de la sévérité pour $\alpha=2$ de la pauvreté. L'incidence est la proportion de pauvres observés sous un seuil de pauvreté, la profondeur tient compte de la distance de chaque ménage pauvre avec la ligne de pauvreté et pour la sévérité de la pauvreté c'est la distance au carré du revenu avec le seuil pour les ménages pauvres.

Pour l'analyse distributive, nous utilisons l'indice de Gini. L'indice de Gini est une mesure d'inégalité de revenus développée par le statisticien italien Corrado Gini. Le coefficient de Gini est un nombre entre 0 et 1, où 0 représente l'égalité parfaite car tous les ménages détiennent la même proportion des revenus dans l'économie et 1 est l'inégalité parfaite et extrême puisqu'un seul ménage détient l'ensemble des revenus de l'économie. L'indice de Gini mesure une surface sur le graphique de la courbe de Lorenz[10]. Celle-ci se trouve entre la courbe d'égalité parfaite (droite de 45°) et la courbe de Lorenz observée. L'indice est donc un chiffre entre 0 et 1 de la surface total entre ces deux courbes.

Dans notre analyse distributive, nous utiliserons uniquement une dimension de décomposition à savoir en fonction de la taille de l'agglomération des ménages. Nous avons donc trois catégories qui sont les ménages urbains des villes de plus de 100 000 habitants, les ménages urbains des municipalités de moins de 100 000 habitants et les

[9] La routine utilisée est celle de Pacifico (2010) développée pour Stata.

[10] La courbe de Lorenz est une représentation graphique de l'inégalité des revenus. Lorsque que nous disons que 20% de la population la plus pauvre détient seulement 10% des revenus, nous nous appuyons sur la courbe de Lorenz pour faire un tel énoncé. Chacun des points sur la courbe représente un énoncé similaire. Le pourcentage des ménages est présenté en ordonné et le pourcentage des revenus détenus en abscisse.

ménages ruraux[11]. La faible taille de notre échantillon ne nous permettait pas d'avoir une décomposition plus fine. Nous appliquons l'analyse distributive pour la période de référence ainsi que pour la 20ième année ainsi que pour la 40ième et dernière année de résolution du modèle EGC-MS. Les analyses faites pour la 20ième et la 40ième année sont donc comparées avec les résultats de l'analyse distributive à la période de référence.

# 3. Présentation des simulations

Deux types de simulations seront effectués sur le modèle : 1- les simulations d'impacts des changements climatiques et 2- les simulation de mesures d'adaptation.

## 3.1 Simulations d'impact des changements climatiques

L'un des effets directs possibles des changements climatiques sur la forêt du Québec est la variation de la productivité forestière. En effet, la température et la concentration de $CO_2$ sont des facteurs importants dans la croissance des arbres (Williamson et al. 2009). De plus, les changements climatiques peuvent affecter la fréquence d'évènements ponctuels tels que des sécheresses, qui affectent aussi la productivité forestière (Yamasaki et al., 2012). En ce sens, la variation de facteurs climatiques modifie la productivité des forêts.

Par ailleurs, les changements climatiques peuvent modifier l'ensemble des perturbations naturelles affectant la forêt, notamment les feux de forêts, l'arrivée d'espèces envahissantes, de fortes épidémies d'insectes et des redoux hivernaux. Ces perturbations naturelles, en plus d'affecter la productivité des forêts, peuvent interrompre les opérations forestières, générant des chocs sur la production. En ce sens, des simulations de changement de productivité forestière et de chocs sur la production seront effectuées afin d'analyser l'impact de ces variations sur la foresterie et l'économie du Québec. Différents scénarios d'impacts sont retenus pour encadrer les simulations. Ces scénarios varient d'un scénario optimiste à un scénario très pessimiste.

### 3.1.1 Scénarios d'impact sur la productivité forestière

#### 3.1.1.1 Simulations d'augmentation de la productivité

Les premières simulations effectuées concernent l'augmentation de la productivité des forêts. Ces simulations permettront de capter les possibles effets positifs des changements climatiques sur la forêt québécoise, notamment une meilleure croissance et une meilleure régénération des forêts couplées à un statu quo dans l'ensemble des perturbations

[11] Selon la définition de Statistique Canada, les ménages ruraux vivent à l'extérieur des agglomérations de 1 000 habitants ou plus.

naturelles. Deux simulations ont été réalisées : 1- une légère augmentation de productivité et 2- une forte augmentation afin de tenir compte des scénarios optimiste et très optimiste de Yamasaki et al. (2012) ou optimiste de Marbek et Lantz (2010).

#### 3.1.1.1.1 La simulation 1 (Sim 1)

La première simulation est une augmentation de la productivité forestière de 3%[12]. Pour cette simulation, l'impact d'augmentation de productivité forestière sera étalé sur 40 ans. Ceci va donc représenter une augmentation annuelle de la productivité forestière de 0,074%. Ce choc sera effectué sur le stock de bois disponible pour l'industrie forestière de la province.

#### 3.1.1.1.2. La simulation 2 (Sim 2)

La deuxième simulation est une augmentation de la productivité forestière de 6% étalée sur une période de 40 ans. Ceci va représenter une augmentation annuelle de la productivité forestière de 0,146% sur la période visée par cette simulation. Ce choc sera effectué sur le stock de bois disponible pour l'industrie forestière de la province. Nous avons aussi effectué des tests pour un impact de 1 et 2% sur 40 ans afin de vérifier si un effet de seuil est observé ce qui n'a pas été validé.

### 3.1.1.2. Scénarios d'impact négatif sur la productivité

Le deuxième groupe de scénarios représente une situation où les changements climatiques ont un effet négatif sur la forêt québécoise. Dans ce scénario, une meilleure croissance forestière est évincée par la baisse de productivité en lien avec des évènements ponctuels (sécheresses) et par un stress hydrique accru. Par ailleurs, ce scénario implique une augmentation des perturbations naturelles (feux, redoux hivernaux, espèces envahissantes, épidémies) pouvant interrompre les opérations forestières et générer des chocs importants sur la production de bois rond. Les simulations proposées représentent ces scénarios médians pessimistes et très pessimistes de Yamasaki et al. (2012) ou pessimiste de Marbek et Lantz (2010).

Ainsi, les simulations 3 et 4 représentent une baisse de productivité forestière causée par un stress hydrique accru et des évènements ponctuels d'ampleurs différentes. La simulation 5 représente une baisse de l'offre de bois rond suite à une perturbation naturelle qui interrompt les opérations forestières. La simulation 6 représente une

[12] Ces niveaux s'appuient sur les travaux de Yamasaki et al. (2012) ou optimiste de Marbek et Lantz (2010). Le niveau exact n'est pas particulièrement important dans la mesure où celui-ci est à l'intérieur des fourchettes de ces études.

perturbation naturelle (telle une épidémie d'insectes) nécessitant une récupération rapide du bois suivie d'un déclin radical de la production.

#### 3.1.1.2.1 La simulation 3 (Sim 3)

La troisième simulation est donc une diminution de la productivité forestière de 3% sur une période de 40 ans. Ceci représente une diminution annuelle de la productivité de l'ordre de 0,076% par année. Comme pour la hausse de la productivité (simulations 1 et 2), c'est une baisse du stock de bois disponible qui a été simulée et l'impact est cumulatif de telle sorte qu'à la $40^{ième}$ année, le stock de bois disponible est 3% inférieur qu'à la situation de référence (business as usual-BAU).

#### 3.1.1.2.2. La simulation 4 (Sim 4)

La quatrième simulation est diminution de la productivité forestière de 6% sur une période de 40 ans. Ceci représente une diminution annuelle de la productivité de l'ordre de 0,155% par année. C'est donc la même mécanique que pour la simulation 3 mais avec un impact plus important.

### 3.1.1.3. Hausse temporaire de l'offre de bois : La simulation 5 (Sim 5)

Cette simulation consiste en une hausse de l'offre de bois de 20% sur une période de 3 ans, soit une augmentation de l'offre de 6,27% par année et par la suite, nous obtenons un stock de bois beaucoup plus faible disponible. Ce choc a été réalisé en augmentant le capital disponible dans le secteur forestier durant 3 ans ce qui viendra augmenter la production est réduire le stock de bois disponible pour la suite. Une chute de la production surviendra à la $4^{ième}$ année par l'entremise d'une diminution du capital disponible dans le secteur et reste en dessous du niveau du BAU pour la durée de résolution (40 ans). De plus, nous avons un stock total de bois plus faible que le BAU à la fin des 40 ans.

### 3.1.1.4. Simulation conjointes : Les simulations 6 (Sim 6a et Sim 6b)

Ces simulations consistent à combiner des simulations précédentes. Pour la simulation 6a, nous avons combiné la simulation 1 avec la simulation 5 et pour la simulation 6b, nous avons appliqué la simulation 3 avec la simulation 5.

## 3.1.2 Simulation avec choc exogène sur le secteur forestier

Au niveau mondial, les changements climatiques affecteront l'offre et la demande de bois. La variation du prix mondial de ce bien affectera les producteurs du Québec à travers les échanges avec l'étranger. Dans cette étude, on pose l'hypothèse que les

changements climatiques réduiront les retombées économiques du commerce des produits forestiers pour les producteurs de l'Amérique du Nord en raison du déclin relatif des prix et d'une diminution de la part de marché des producteurs nord-américains (Williamson et al. 2009). La variation des prix relatifs entraînera une modification de la demande étrangère des produits forestiers. La prise en compte de ces effets des changements climatiques sur le marché mondial du bois sera faite à travers deux simulations que nous considèrerons de manière indépendante puis en les combinant.

#### 3.1.2.1 Baisse des prix mondiaux (Sim 7a)

Cette simulation consiste à soumettre l'économie québécoise à un choc négatif de 20% sur le prix du bois sur une période de quinze ans. Ce choc est appliqué sur les prix à l'exportation et les prix à l'importation de la foresterie. De plus, nous appliquons une baisse des prix pour les autres secteurs de l'industrie forestière mais d'une ampleur qui est fonction de la proportion de bois utilisée dans le processus de production.

#### 3.1.2.2 Choc négatif de la demande mondiale pour les produits forestiers québécois (Sim 7b)

Ce choc est implicitement lié à un surplus d'offre en provenance de marché concurrent. Nous avons intégré ce choc en réduisant l'élasticité de la demande mondiale pour les exportations québécoises. Cette baisse est temporaire et s'étale sur une durée de 5 ans.

#### 3.1.2.3 Simulations conjointes de productivité et chocs exogènes (Sim 8a et Sim 8b)

Ces simulations consistent à associer les simulations 7 avec les chocs de productivité du premier bloc de simulation. Nous avons effectué deux simulations avec la première (Sim 8a) qui est la combinaison de la simulation 1 avec la simulation 7a (Sim 1 + Sim 7a), la deuxième (Sim 8b) est la combinaison de la simulation 3 avec la simulation 7a (Sim 3 + Sim 7a).

### 3.2 Simulation de mesures d'adaptation

Pour faire face aux effets négatifs des changements climatiques ou profiter pleinement des effets positifs, des mesures d'adaptation doivent être mises en œuvre par le gouvernement et les intervenants forestiers. Les mesures d'adaptation aux changements climatiques pouvant être mises de l'avant sont diverses et concernent notamment la planification stratégique de l'aménagement forestier, les pratiques et règles sylvicoles, le maintien et l'amélioration de la diversité génétique et la modification des infrastructures.
Dans le but de représenter un éventail étendu des mesures d'adaptation possibles, deux scénarios d'adaptation sont proposés. Le premier scénario (1) touche des mesures

d'adaptation nécessitant des investissements importants dans les infrastructures (routes, ponceaux et machineries, par exemple) alors que le deuxième (2) intègre les mesures d'adaptations liées au secteur du soutien à la foresterie (planification de l'aménagement de la forêt et valorisation de la diversité génétique, par exemple).

### 3.2.1 L'adaptation par les infrastructures soutenant l'industrie forestière

La modification des infrastructures constitue un premier scénario d'adaptation. En effet, l'amélioration des infrastructures permet un meilleur accès à la forêt afin de faciliter l'aménagement forestier, notamment la lutte contre les feux de forêt, ainsi que le transport du bois coupé lors de perturbations naturelles. La simulation effectuée vise à refléter un programme d'investissements en infrastructure de 75 millions de dollars s'étalant sur une période de 3 ans permettant d'améliorer la productivité du secteur foresterie et exploitation forestière. Dans la pratique, ce programme pourrait prendre différentes formes comme par exemple l'aménagement de nouvelles routes forestières pour la cueillette du bois suivant des perturbations naturelles, le maintien ou la réhabilitation des routes existantes pour la prévention de l'augmentation de l'érosion associée à une augmentation des précipitations ou à une fonte du permafrost (Gauthier et al., 2014) ou encore la réorganisation des routes. Pour ce groupe de simulations, il est important de souligner que l'investissement en infrastructure a comme conséquence d'augmenter la productivité de la branche forestière. De plus, durant le programme d'investissement en infrastructure, l'activité de la branche construction est mise à contribution par ce programme car c'est ce secteur qui construira les infrastructures routières.

Nous effectuons deux variantes de cette simulation (**Sim 9a et Sim 9b**). Pour la première (Sim 9a), le programme sera financé par une hausse de la TVQ[13]. Pour la deuxième (Sim 9b), le programme se finance en partie par l'endettement et en partie par la croissance générée.

Ces deux simulations d'adaptation sont réalisées conjointement avec la simulation 3 afin de mettre en relation la mesure d'adaptation avec le choc négatif de productivité. Comme mentionné ci-dessus, le programme d'adaptation consiste à investir 25 millions en infrastructure routière forestière par année durant trois ans pour un total de 75 millions de dollars. L'impact positif sur la productivité commencera à partir de la deuxième année, pour croître jusqu'à la fin des investissements (soit trois ans). Par la suite, il n'y aura plus de gain d'efficacité supplémentaire mais une persistance des gains de productivité du

[13] Cette hausse de taxe pourrait être interprétée comme une taxe environnementale. Comme nos secteurs sont très agrégés, nous ne pouvons pas construire une vrai taxe environnementale en fonction du niveau de pollution des biens. De ce fait et compte tenu du faible niveau de l'augmentation de la taxe de vente, cette interprétation de taxe environnement peut plausiblement être faite.

programme est maintenue. L'impact positif sur le secteur de la foresterie a été transmis via le paramètre de changement technologique du secteur. Cette approche est conforme à la littérature portant sur l'impact d'investissement en infrastructure sur la productivité des autres secteurs de l'économie (Savard 2010). Le paramètre de changement technologique est multiplicatif de la fonction de production du secteur concerné. Pour la simulation 9a, l'augmentation de la TVQ nécessaire pour financer le programme est très faible (autour de 0,05 point de pourcentage). Boccanfuso et al (2014) montrent que le type de taxe utilisé pour financer un programme d'investissement en infrastructure n'est pas crucial dans l'analyse d'impact et la TVQ s'avère la plus neutre pour l'économie québécoise.

Pour la simulation 9b, nous effectuons cette variante dans laquelle le programme est financé en partie par l'endettement et en partie par la croissance générée par le programme d'investissement. Cette simulation, qui peut être comparé à la simulation 3 permet de mesurer l'augmentation des recettes du gouvernement qui pourrait être affectée à un programme d'adaptation et qui serait à coût nul pour l'économie.

### 3.2.2 L'adaptation par des investissements dans le secteur de soutien à la foresterie

Le deuxième scénario d'adaptation englobe l'ensemble des mesures d'adaptation visant l'amélioration de la productivité forestière en passant par le secteur du soutien à la foresterie. Ce secteur inclut l'ensemble des activités sylvicoles, la lutte contre les incendies, la reforestation, l'évaluation forestière et la lutte contre les insectes et parasites. Les mesures visées par ce scénario d'adaptation sont donc nombreuses et diverses et incluent, notamment : limiter la fragmentation des habitats (par exemple par le développement de corridors de migration), restaurer les aires dégradées en favorisant la diversité génétique, valoriser la plantation d'espèces présentant des génotypes différents, adapter les pratiques et règles sylvicoles pour favoriser la croissance arboricole (par des mesures telles que le retrait des arbres de mauvaise qualité de façon à augmenter la disponibilité des ressources pour les arbres restants), contrôler les espèces envahissantes, améliorer la croissance des forêts avec la fertilisation, réduire le stress hydrique avec des techniques de contrôle végétal ou financer des travaux de recherches portant sur la transition des écosystèmes et sur les comparaisons de croissance et régénération de différentes espèces et génotypes (Gauthier et al, 2014). L'ensemble de ces mesures vise à augmenter la résilience des forêts aux perturbations naturelles et à rehausser leur productivité.

La simulation effectuée (**Sim 10**) concerne donc un investissement de 50 millions $ dans le secteur du soutien à la foresterie dans l'optique d'améliorer la productivité forestière. Cet investissement peut concerner l'ensemble des mesures mentionnées ci-haut. Pour mettre en œuvre cette simulation, nous avons introduit une taxe négative au secteur de

soutien à la foresterie pour un montant de 50 millions s'étalant sur 5 ans, financée par une hausse de TVQ sur les 5 années. Cette taxe négative est associée à un gain de productivité du secteur forestier de 5%. La hausse de la productivité du secteur forestier est étalée sur une période de 30 ans avec une hausse progressive en débutant par un gain de productivité de 0,17% la première année pour avoir un gain de 5% à la trentième année. Par la suite, le niveau de productivité est maintenu au même niveau que la 30$^{ième}$ année pour les 10 dernières années de résolution du modèle. Cette simulation est effectuée conjointement avec le choc de productivité négatif associé aux changements climatique de 3% à savoir la simulation 3. La synthèse des simulations est présentée dans le Tableau 2 ci-dessous.

**Tableau 2: Présentation synthétique des simulations**

| Code | Synthèse des simulations |
|---|---|
| Sim 1 | Augmentation de la productivité forestière de 3% |
| Sim 2 | Augmentation de la productivité forestière de 6% |
| Sim 3 | Diminution de la productivité forestière de 3% |
| Sim 4 | Diminution de la productivité forestière de 6% |
| Sim 5 | Hausse temporaire de l'offre de bois de 20% sur 3 ans |
| Sim 6a | Sim 1 + Sim 5 |
| Sim 6b | Sim 3 + Sim 5 |
| Sim 7a | Choc négatif du prix mondial du bois de moins 20% sur 15 |
| Sim 7b | Choc négatif sur la demande mondiale du bois québécois de 5 ans |
| Sim 8a | Sim 1 + Sim 7a |
| Sim 8b | Sim 7a avec la Sim 3 (baisse de productivité foresitère de 3%) |
| Sim 9a | Adaptation par la construction de routes financée par la TVQ + Sim 3 |
| Sim 9b | Adaptation par la construction de routes financée par la dette + Sim 3 |
| Sim 10 | Adaptation par le soutien à la foresterie + Sim 3 |

# 4. Analyse des résultats du modèle EGC

## 4.1 Introduction

Dans la présentation des résultats et leur analyse, seuls six simulations seront traitées en détails. Comme le modèle EGC comporte 30 secteurs de productions avec 4 agents et qui est résolu sur 40 périodes/années, le volume de résultats généré est considérable. Nous commentons de manière succincte les résultats des autres simulations. Nous retenons au moins une simulation par bloc de simulation afin de présenter un éventail le plus large possible de nos résultats. Les simulations qui ont été retenues pour l'analyse détaillée sont présentées dans le Tableau 3 ci-dessous.

**Tableau 3 : Présentation synthétique des simulations**

| Code | Synthèse des simulations |
|---|---|
| Sim 1 | Augmentation de la productivité forestière de 3% |
| Sim 4 | Diminution de la productivité forestière de 6% |
| Sim 5 | Hausse temporaire de l'offre de bois de 20% sur 3 ans |
| Sim 7a | Choc négatif du prix mondial du bois de moins 20% sur 15 |
| Sim 9a | Adaptation par la construction de routes financée par la TVQ + Sim 3 |
| Sim 10 | Adaptation par le soutien à la foresterie + Sim 3 |

Avant d'aborder l'analyse des résultats, il est important de souligner que les simulations qui ont été réalisées, représentent des effets plutôt faibles. Toutefois, il faut garder en tête qu'une variation de 1% du PIB représente un changement d'une valeur d'approximativement 3millards de $ (le PIB pour l'année de référence était autour de 300 milliards de $). De ce fait, un écart dans notre analyse qui sera de 0,1% représente 300 millions de $ et un écart de 0,01% de 30 millions de $. Par conséquent, même si les écarts semblent faible en pourcentage, ils peuvent représenter des montants relativement important en absolue. Pour la majorité des simulations et plus particulièrement pour les simulations d'impact de productivité forestière en lien avec les changements climatiques, la variation de productivité du secteur forestier est inférieure à 0,2% par année. Dans un contexte où le secteur forestier représente moins de 0,5% du PIB québécois et que l'ensemble de l'industrie forestière compte pour moins de 5% du PIB, ces simulations produisent un effet faible sur l'ensemble de l'économie. Toutefois, les résultats qui seront analysés, donnent une indication du sens des impacts en lien avec nos simulations.

Au niveau de la présentation des résultats, ceux-ci peuvent être présentés de différentes façons dans un contexte de modélisation EGC avec dynamique récursive. Nous retenons l'option de présenter les résultats en variations en pourcentage par rapport aux variations en pourcentage de notre scénario de référence (*Business as usual*-BAU). Rappelons que pour le BAU, nous avons retenu une croissance à 2% par année ce qui représente une augmentation de 6 milliards par année pour l'économie du Québec.

Pour l'analyse, présentons des graphiques sur la durée de résolution qui est de 40 périodes/années pour différentes variables où nous pourrons voir l'écart en pourcentage entre la variations en pourcentage de la simulation et la variation en pourcentage du BAU. Nos résultats représentent ainsi les gains ou pertes par rapport à un scénario de référence. Pour la présentation des résultats sur les graphiques, en ordonné nous avons l'écart de la variation en pourcentage de la simulation par rapport au BAU et en abscisse nous avons les années.

Nous commençons l'analyse en présentant les résultats macroéconomiques et sectoriels pour les simulations retenues. Pour les variables macroéconomiques, nous présentons le PIB, la dette publique et le revenu des agents à savoir le revenu du ménage agrégé (*Ym*),

le revenu des entreprises agrégés (*Ye*) et le revenu des gouvernements (*Yg*). Au niveau de l'analyse sectorielle, nous mettons l'accent sur les sept branches de l'industrie forestière et présentons des résultats pour trois autres secteurs importants en terme de contribution au PIB à savoir les branches *autres fabrications*, *commerce de détail* et *finance* (ces trois secteurs compte pour 36% du PIB du Québec).

Les variables que nous avons retenues pour l'analyse sectorielle sont la production de la branche ($Xs_i$), le prix du marché ($Pq_i$) et les exportations ($Ex_i$). Les graphiques de résultats présentés dans les tableaux de la section d'analyse des résultats sont des variations en pourcentage (en ordonnée) par rapport au BAU pour chacune des périodes (en abscisse) L'analyse distributive vient compléter cette section. Nous avons retenu quelques variables macroéconomiques et sectorielles afin de ne pas trop alourdir la présentation. Il convient de souligner qu'au niveau sectoriel, les tendances observées pour différentes variables sont généralement semblables.

## 4.2 Analyse macroéconomique et sectorielle

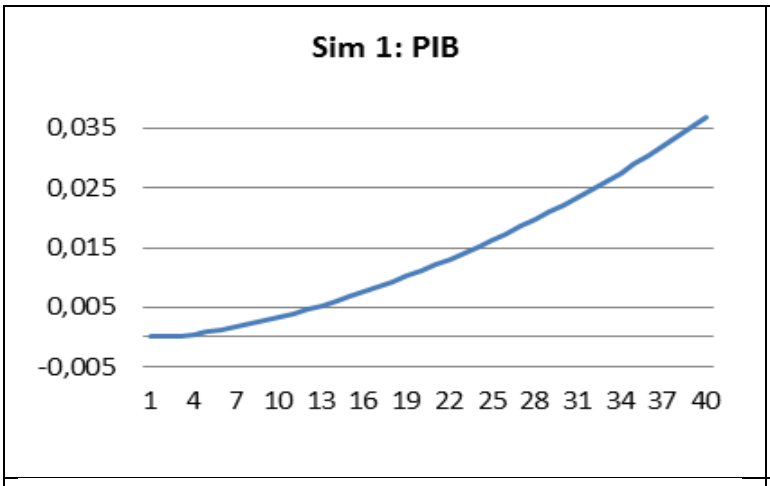
### 4.2.1 Simulation 1 : Augmentation de la productivité forestière de 3%

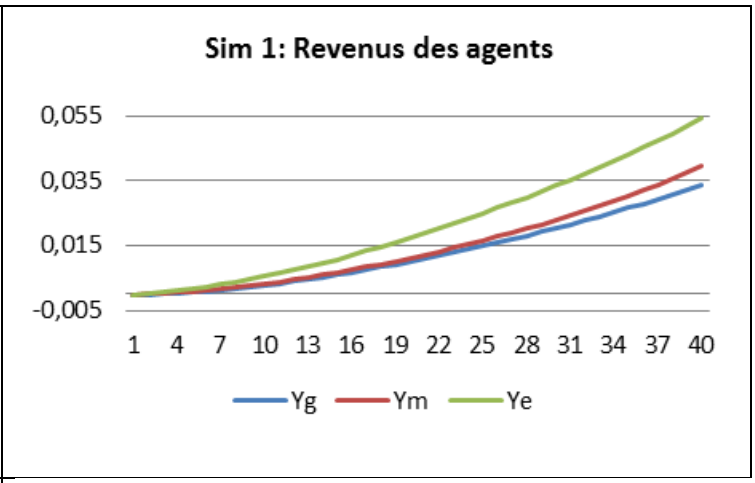
L'impact du choc positif de productivité de 3% sur le secteur de la foresterie est favorable pour l'ensemble des variables. Le PIB progresse plus rapidement que dans le scénario BAU et cette croissance s'accélère dans le temps avec une pente plus forte de la courbe d'écart de variation pour se terminer à un niveau de presque 0,4% supérieur au BAU. Nous observons la même tendance pour le revenu des trois principaux agents avec le revenu des entreprises qui progresse plus que celui des ménages et du gouvernement. Le revenu des entreprises et du ménage agrégé progresse plus rapidement que la progression du PIB par rapport au BAU alors que le revenu du gouvernement progresse à peu près au même rythme que le PIB.

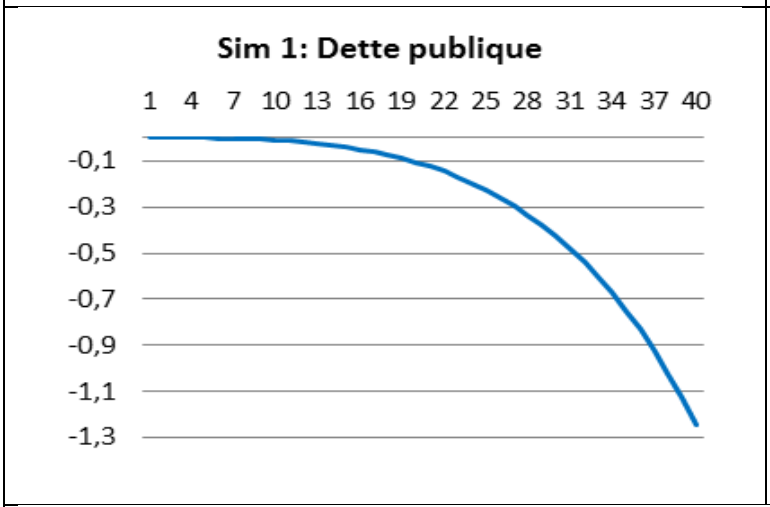
De plus, cette progression plus rapide des recettes du gouvernement permet de réduire l'endettement public de presque 1,5%. Nous pouvons rappeler que dans le scénario BAU, nous avons imposé un endettement constant et par conséquent, cet écart représente la variation de l'endettement par rapport au niveau de la période de référence. Rappelons que le niveau de la dette à l'année de référence était d'environ 126 milliards de $[14].

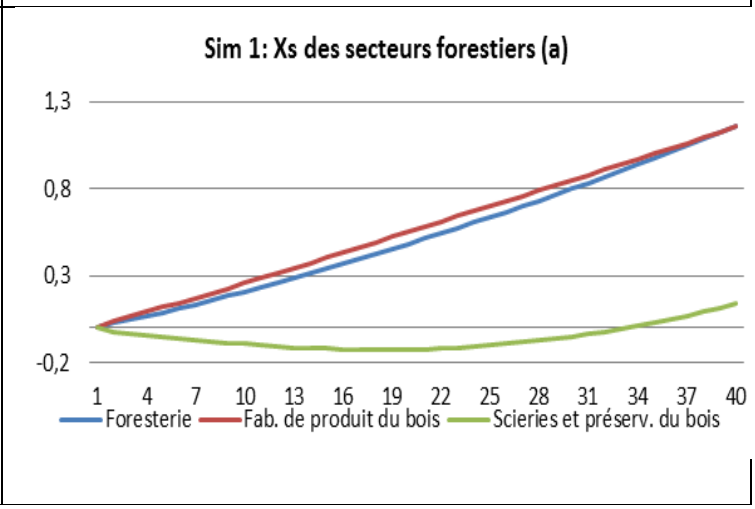
[14] Ce niveau d'endette représentait le niveau de la dette brute pour l'année de la MCS de référence qui est de 2006.

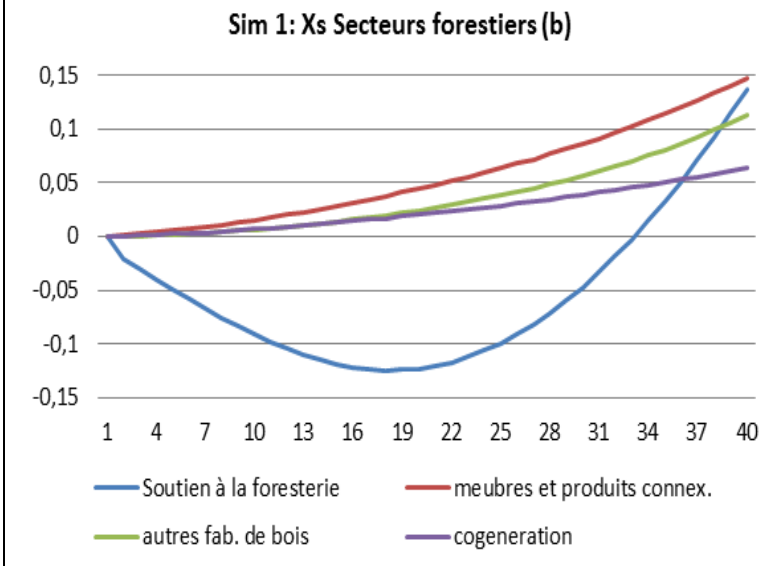
**Tableau 4 : Simulation 1, variables macro et la production**



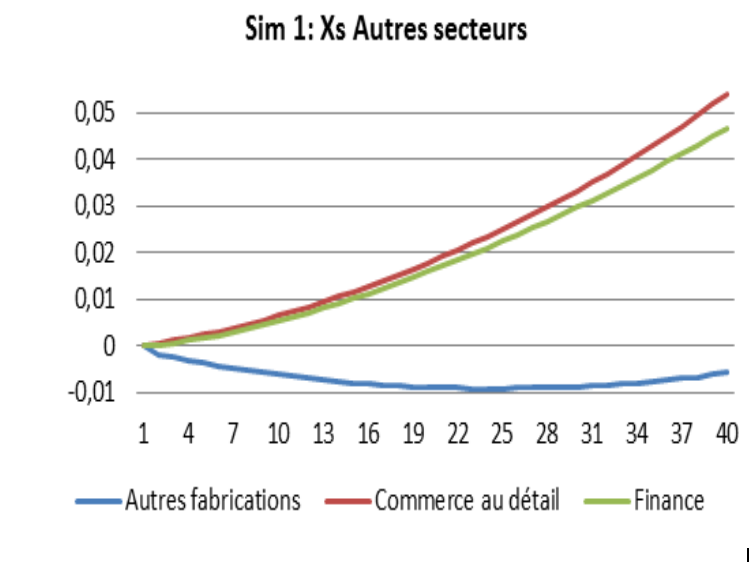
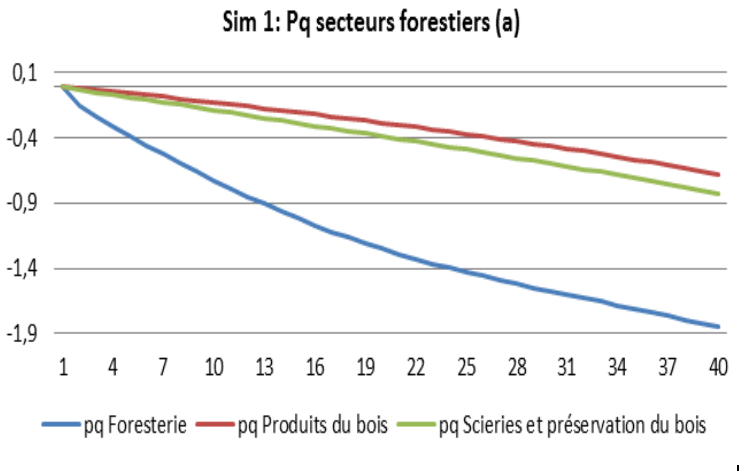
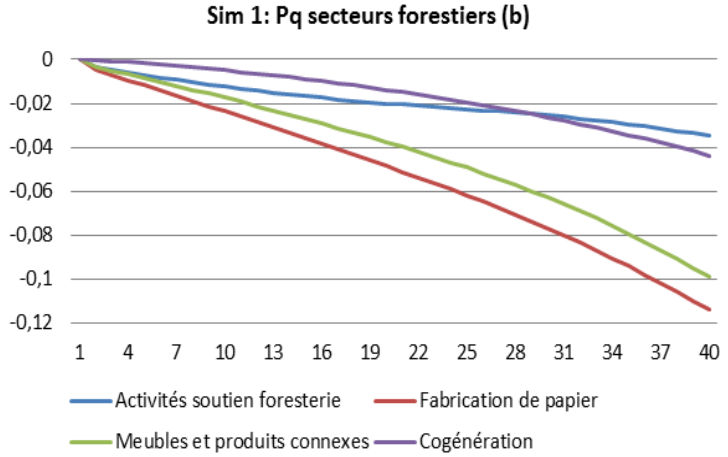
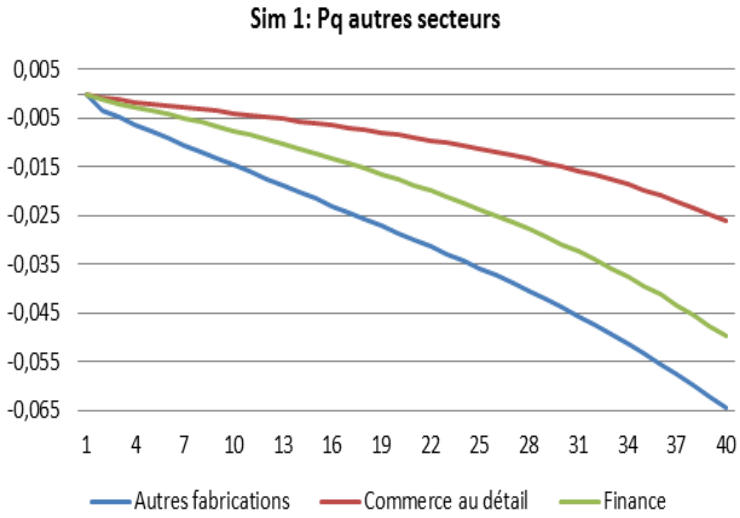
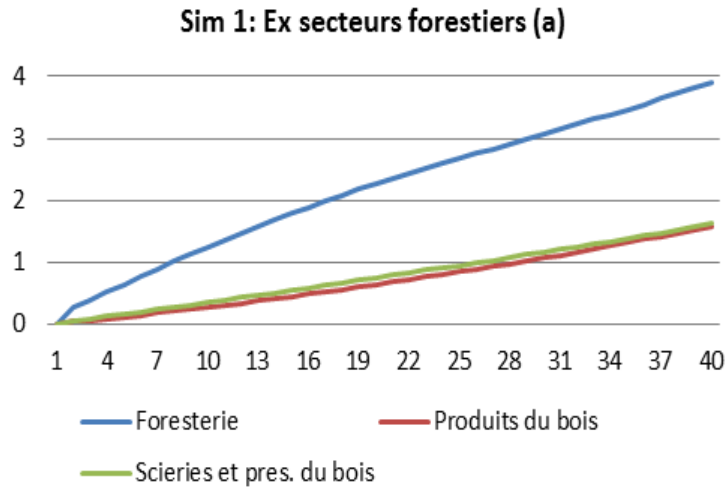



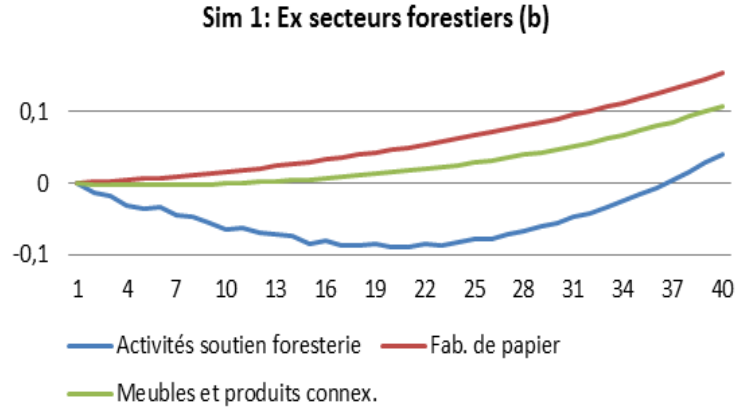
**Tableau 5 : Simulation 1, les prix et les exportations**

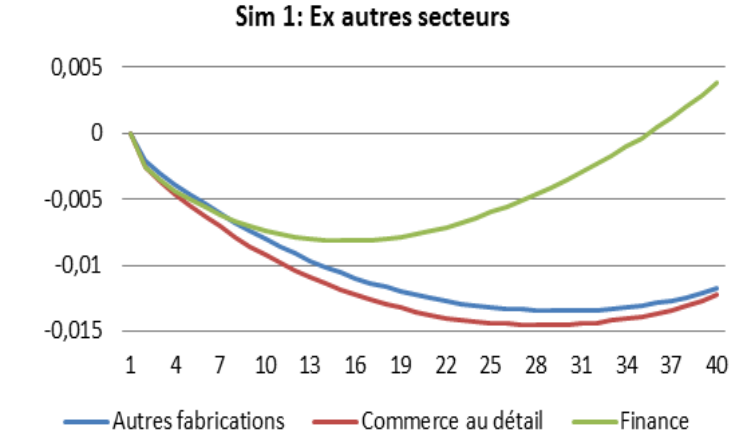


Au niveau de l'analyse sectorielle, nous observons une progression plus forte progression de l'offre au niveau des secteurs de la *foresterie* et de la *fabrication des produits du bois* à un rythme presque identique. La progression de ces deux secteurs est pratiquement linéaire et pour le secteur de la *foresterie*, cette situation s'explique car la simulation est appliquée directement sur ce secteur.

Les gains de productivité de la branche forestière profitent particulièrement à la branche *meubles et produits connexes* ainsi qu'à *autre fabrication de bois* et dans une moindre mesure à la cogénération. Ce qui est un peu plus surprenant est l'effet inverse qu'a ce choc sur le secteur de *soutien à la foresterie*. En fait, comme le secteur de foresterie arrive à produire plus avec la même quantité de facteur (gain de productivité), il réduit sa demande en intrants intermédiaires dont le secteur de *soutien à la foresterie*. Ceci est possible du fait que la production de la branche *foresterie* augmente moins que le niveau du choc de productivité dont le secteur bénéficie.

Pour ce qui est de l'effet sur les trois autres secteurs retenus pour l'analyse, nous observons une hausse de production dans les branches de *commerce au détail* et de la *finance* mais une réduction de la production dans la branche *autres fabrications*. Pour cette branche, la production diminue par rapport au BAU avant d'augmenter à partir de l'année 25. Il faut noter qu'après 40 ans, le niveau de la baisse est plutôt faible avec un niveau de 0,005% inférieur au BAU.

Pour les prix, nous avons une baisse relativement importante pour la branche *foresterie* qui est compatible avec les gains de productivité qui contribuent à augmenter l'offre sur le marché et à diminuer les coûts unitaires de productions. Le prix de la branche diminue progressivement pour atteindre presque 1,9% de moins que lors du BAU. L'effet pour les secteurs *produits du bois* et *scieries et préservation du bois* est moins direct car il a un effet au niveau du coût de l'intrant bois et par conséquent, la baisse suit la même tendance à la baisse progressive mais avec une diminution de l'ordre de 0,8% pour les deux secteurs au terme de la résolution.

Pour les autres branches forestières, la tendance est la même mais avec une ampleur de réduction plus faible et ceci vient du fait que le poids du bois comme intrant dans ces branches est simplement plus faible.

Pour les trois autres branches sélectionnées, nous observons aussi une tendance à la baisse dans les prix. Ces baisses sont beaucoup plus faibles que pour les branches forestières car elles ne dépassent pas les 0,065%. La branche *autres fabrications* diminue plus que les autres car elle consomme plus de biens en provenance des branches de l'industrie forestière comme intrant intermédiaire.

Au niveau des exportations, nous remarquons que l'effet prix à la baisse joue un rôle important dans l'augmentation des exportations pour les branches forestières mais l'augmentation de l'offre y contribue aussi un peu. La progression des exportations, comme pour la production, est relativement uniforme tout au long de la résolution. Les exportations des *produits du bois* et des *scieries et préservation du bois* augmentent de plus de 1,5% sur la période.

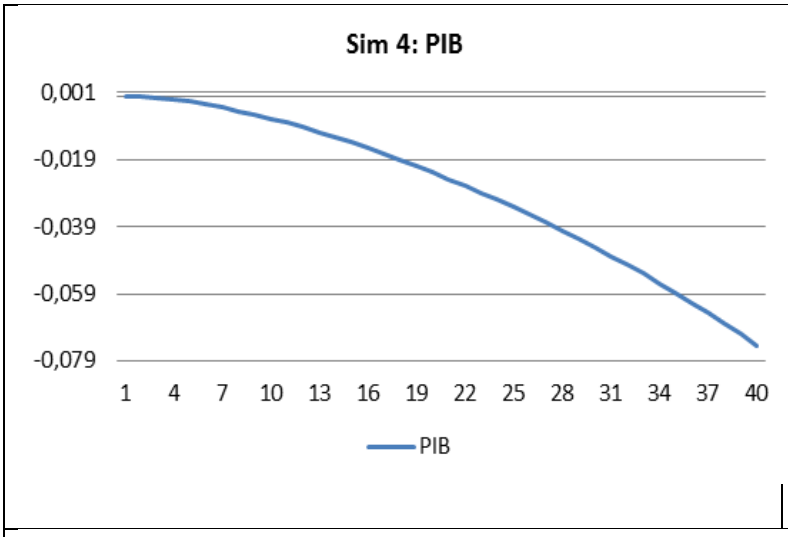
Pour les autres branches de l'industrie forestières, la progression des exportations est beaucoup moins forte. Pour la *fabrication de papier*, elle commence tôt mais est plutôt lente pour terminer à 0,15% et pour la branche de *meubles et produits connexes*, nous avons une stabilité des exportations jusqu'à la 13$^{ième}$ année avant de les voir augmenter jusqu'à +0,1%. Pour la branche de *soutien à la foresterie*, nous avons plutôt une baisse des exportations jusqu'à la 20$^{ième}$ année pour ensuite voir les exportations progresser jusqu'à un niveau de 0.05% de plus que le BAU à la fin de la résolution. La baisse des exportations pour la première phase est liée à la baisse de production pour la branche et à la baisse de prix plus faible que dans les autres branches de l'industrie forestière.

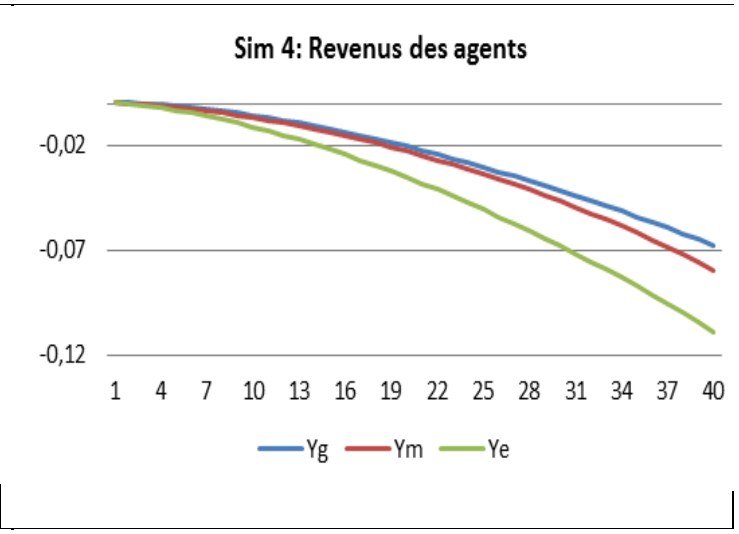
Les exportations des autres secteurs diminuent avant d'augmenter à partir de la 15$^{ième}$ année pour les services de la finance et de la 30$^{ième}$ année pour les branches de *commerce au détail* et *autres fabrication*. Il faut quand même souligner que la baisse est relativement faible. Celle-ci s'explique par l'appréciation de la monnaie nationale. Cet ajustement est nécessaire car les exportations des branches de l'industrie forestière sont en hausse et nous imposons que la balance des opérations courantes soit exogène. L'appréciation de la monnaie permet de rééquilibrer ce compte, étant donné la poussée des exportations forestières.

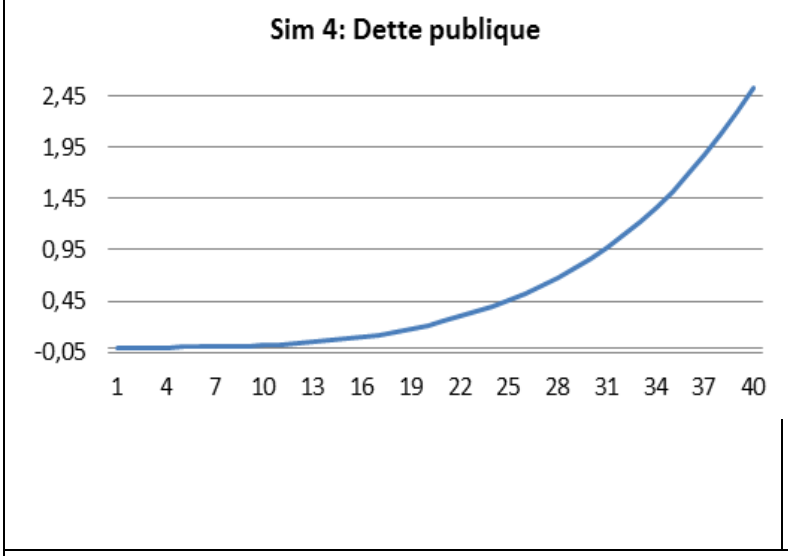
### 4.2.2 Simulation 4 : Diminution de la productivité forestière de 6%

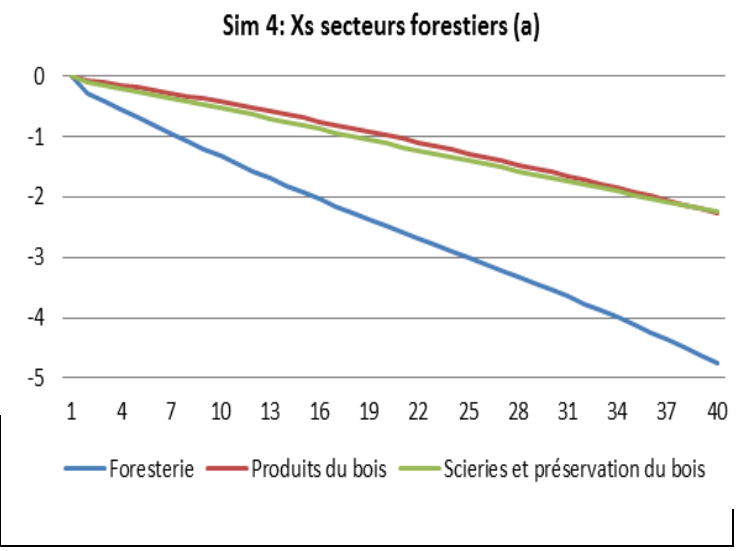
Pour cette simulation nous avons considéré le scénario pessimiste de l'impact des changements climatiques sur la forêt québécoise avec une baisse de productivité du secteur de 6%. Ceci a donc un impact direct sur les secteurs forestiers, comme nous le présenterons ci-dessous, mais également au niveau de variables macroéconomiques où le PIB est légèrement positif après la première période mais commence à diminuer par rapport au BAU et cette diminution s'accélère jusqu'à la fin de la résolution pour atteindre une baisse de 0,075%.

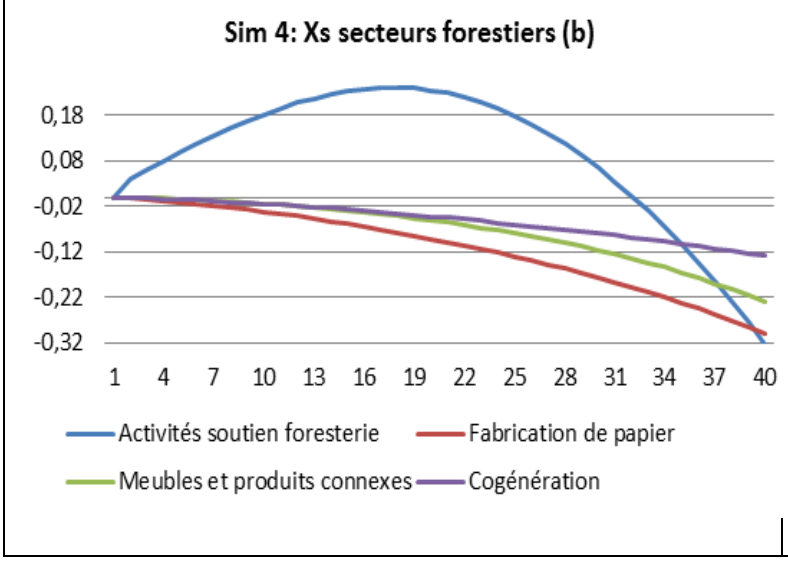
**Tableau 6 : Simulation 4, variables macroéconomique et production**



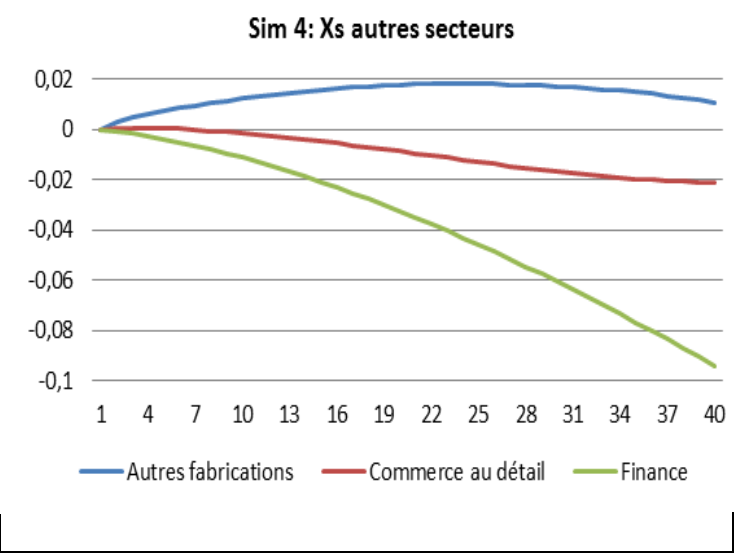
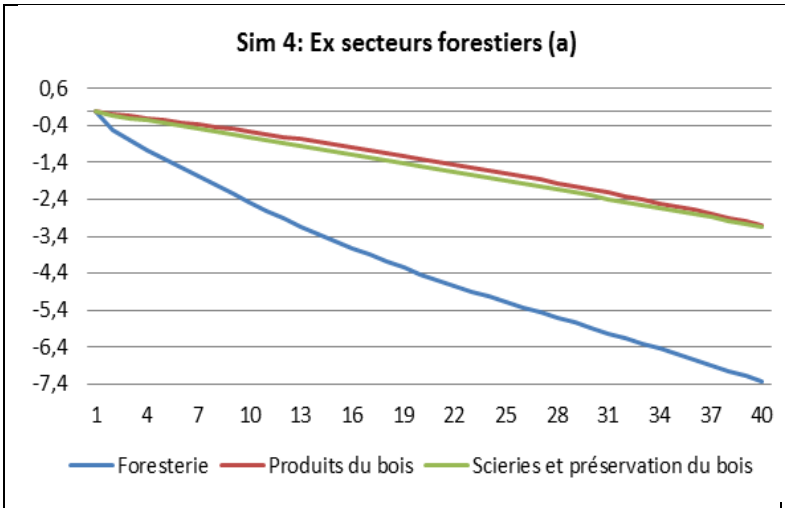
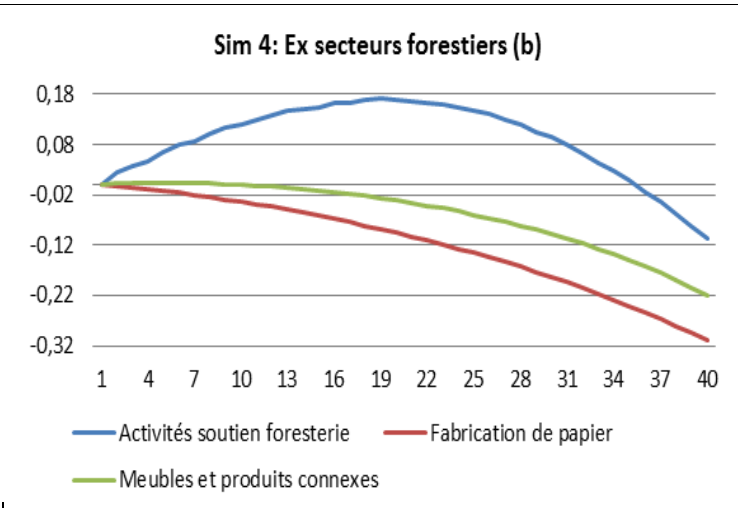
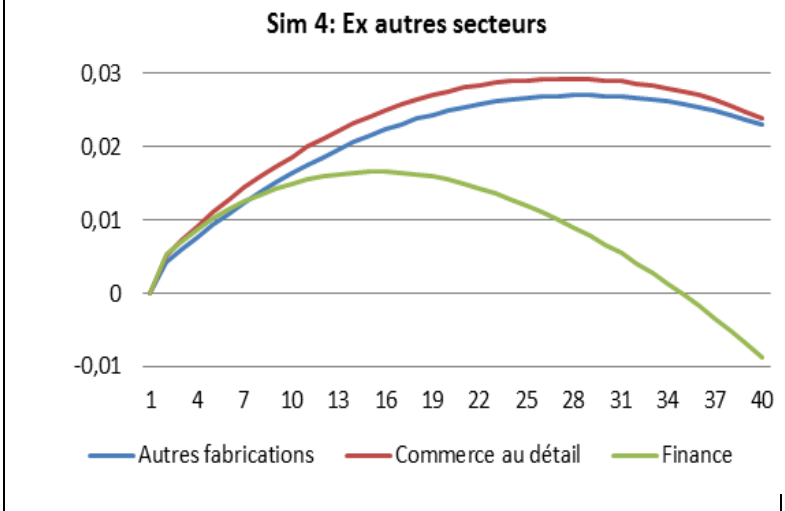
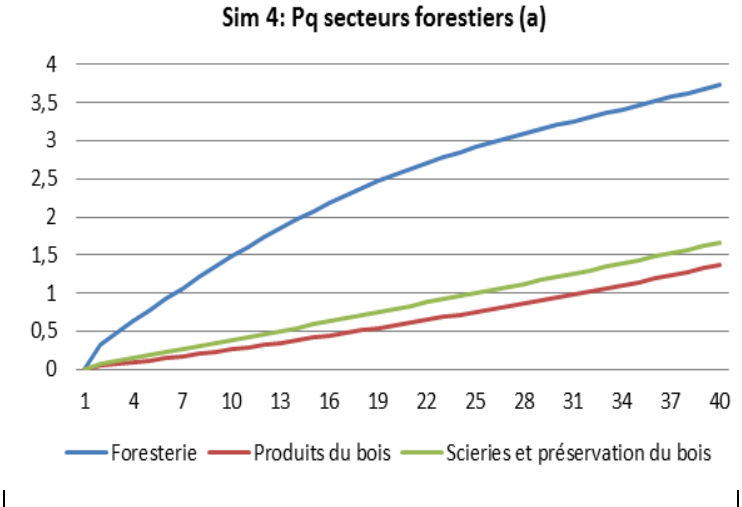



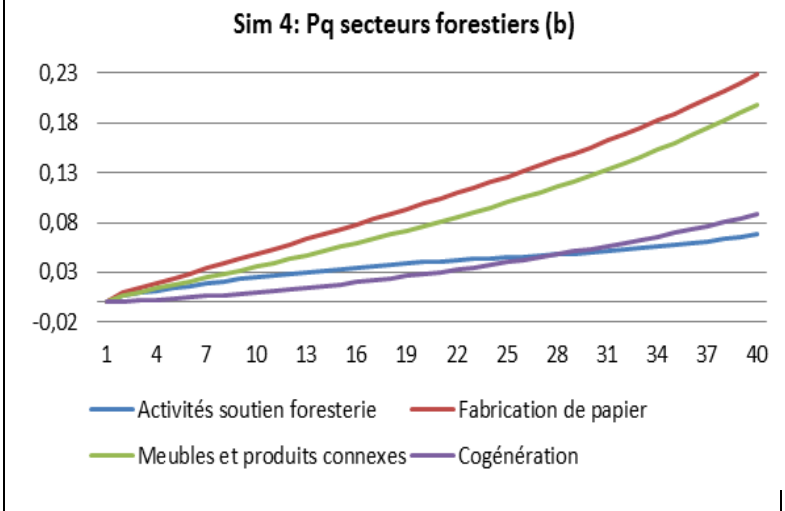
**Tableau 7 : Simulation 4, prix et exportations**

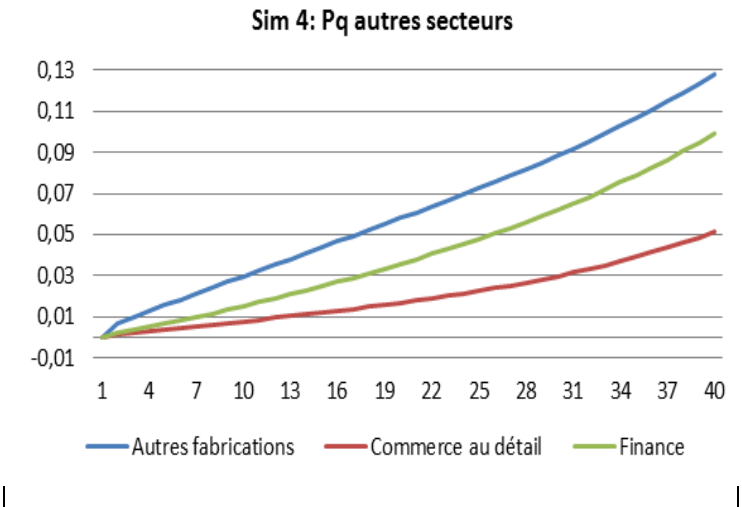


La tendance est la même pour le revenu des agents avec une baisse dans des proportions similaires pour le revenu des ménages et du gouvernement. Toutefois, la baisse du revenu des entreprises est plus prononcée que pour les autres agents avec une baisse autour de 0,11% à la fin, comparée au BAU.

Comme le revenu du gouvernement diminue par rapport au BAU, il est normal de voir l'endettement public croître dans le temps pour atteindre un niveau 2,45% supérieur à la situation du BAU. Nous remarquons aussi un effet cumulatif de l'endettement qui fait progresser le service de la dette et ainsi le rythme d'endettement s'accélère dans le temps. Au niveau de l'impact sectoriel sur les branches forestières, nous observons une baisse de presque 5% de la production (offre) de la branche forestière. Il est important de souligner que l'impact de la baisse de productivité n'est pas faite directement sur le niveau de production de la branche mais plutôt au niveau de la décroissance du stock de bois disponible. Ceci explique l'écart entre la baisse de 6% du stock de bois au terme de la simulation et la baisse de production du secteur *foresterie* autour de 4,8%. Cette chute de l'offre de ce secteur a un impact direct sur le prix du marché du bois et donc des conséquences sur les secteurs forestiers utilisant du bois qui voient leurs coûts de production augmenter. La baisse de production des branches *produits du bois* et *scieries et préservation du bois* est assez conséquente, avec des baisses autour de 2,3% au terme de la résolution. Contrairement à la baisse du PIB, l'effet est plus linéaire et s'explique par l'impact direct et proportionnel de la baisse de productivité que nous avons simulée.

Pour ce qui est des autres secteurs forestiers, nous observons la même tendance pour les branches fabrication de papier, meubles et produits connexes et cogénération, du fait de l'augmentation du coût de l'intrant bois pour ces secteurs. La baisse la plus prononcé est pour la branche de fabrication de papier qui diminue de 0,3% et la branche cogénération diminue de 1,2% sur la période. Il est intéressant de voir l'effet inverse pour les 18 premières années pour la branche soutien à la foresterie et une diminution par la suite. Dans la première phase, la réduction de la productivité implique que la branche forestière doit utiliser plus de facteurs et d'intrants pour produire et cette augmentation de demande d'intrants permet au secteur de soutien à la foresterie d'augmenter sa production de presque 0,2% sur 18 ans. Il faut souligner que la presque totalité de la production de la branche soutien à la foresterie est consommé par la branche foresterie[15]. La baisse qui survient par la suite est liée à la baisse de production du secteur forestier qui devient trop importante pour continuer à faire progresser le secteur de soutien à la foresterie.

Pour les autres secteurs retenus, nous avons des effets différenciés. Le secteur manufacturier semble avantagé par ce choc négatif sur la foresterie avec un production

[15] Une autre portion de cette branche est exportée et le secteur agricole consomme aussi une petite quantité de ce service.

qui est supérieure au BAU tout au long de la résolution. La production de ce secteur est en croissance par rapport au BAU jusqu'à la 24ième année pour diminuer par la suite. À son maximum, le niveau de production est supérieur d'environ 0,02% par rapport au BAU. Le commerce au détail augmente très faiblement son niveau de production par rapport au BAU pour 4 périodes avant de diminuer jusqu'à 0,02% à la fin de la résolution. Pour ce qui est du secteur de la finance, celui-ci diminue le plus, et ce jusqu'à la fin de la résolution à presque 0,1% en dessous du niveau du BAU. Il y a plusieurs facteurs qui sont à l'origine de ces effets différenciés. Premièrement, les différences au niveau de la structure des intrants de production et le ratio capital travail sont importantes car les prix de ces biens et facteurs bougent dans des directions différentes. De plus, la structure du commerce extérieur joue un rôle dans les effets spécifiques ainsi que la rentabilité du capital qui influence la destination des investissements à moyen et long terme[16].

Pour les exportations des branches forestières, l'augmentation du prix et la réduction de la production sont les deux facteurs expliquant les fortes baisses, qui sont de 7,4% pour la foresterie, et 3% pour la branche produit du bois et scieries et préservation du bois. Les autres branches forestières diminuent mais beaucoup moins avec des baisses inférieures à 0,3%. La branche soutien à la foresterie connait une progression de ses exportations bien que relativement faible jusqu'à la 18ième année pour aller en diminuant par la suite et le niveau d'exportation passe sous le niveau du BAU autour de la 35ième année.

Pour les autres secteurs, nous observons une faible augmentation des exportations avant que ceux-ci baissent. Pour les branches autres fabrications et commerce au détail, la diminution est faible et survient autour de la 28ième année et à la fin les exportations de ces deux secteurs sont supérieures au BAU. Pour la branche finance, le renversement de tendance se fait à la 14ième année et les exportations deviennent plus faibles que le BAU à partir de la 35ième année. L'augmentation des exportations de ces secteurs s'explique par l'appréciation du taux de change à 0,16% (baisse de valeur de monnaie domestique) et donc une compétitivité accru pour ces secteurs. La progression de la production de la branche *autres fabrications* permet aussi d'expliquer une partie de la progression des exportations.

Au niveau des prix, tel qu'anticipé, la baisse d'offre dans les branches forestières pousse les prix à la hausse, avec une hausse de plus de 3,5% pour la branche forestière à terme et autour de 1,5% pour les branches produits du bois et scieries et préservation du bois. Pour ces deux dernières branches, la hausse du prix est progressive et le taux de croissance est

[16] Nous ne pouvons entrer dans les détails d'explication de l'ensemble des variations de prix de biens et services et de facteurs car il y a trop de prix et trop d'intrants intermédiaires pour le faire de manière succincte.

relativement constant alors que pour le secteur de la foresterie, la croissance du prix est plus forte au début pour s'atténuer autour de la 20ième période.

Les prix des autres secteurs forestiers suivent les mêmes tendances mais avec une progression plus faible allant de 0.06% pour la branche de soutien à la foresterie à 0,23% pour la branche de fabrication de papier. Nous observons aussi une tendance de prix à la hausse pour les trois autres secteurs retenus mais encore une fois avec une progression relativement faible sur la durée de la résolution. La branche autre fabrication progresse le plus, à 0,13%, et la branche commerce au détail le moins, à 0,05%.

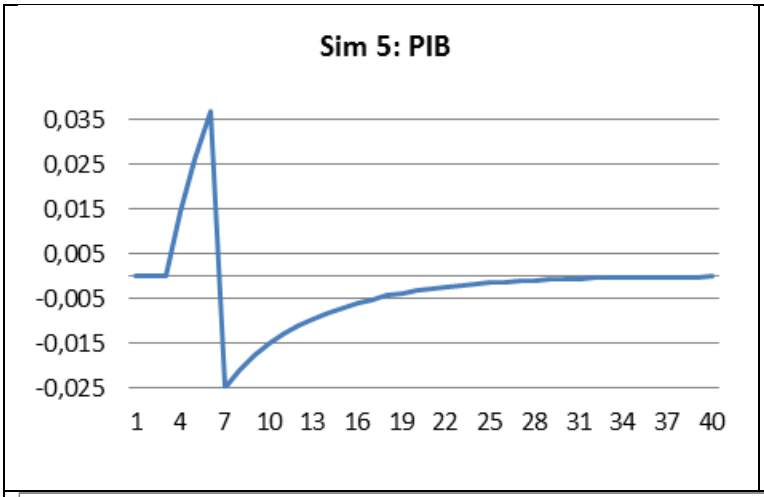
### 4.2.3 Simulation 5 : hausse temporaire de l'offre de bois de 20% sur 3 ans

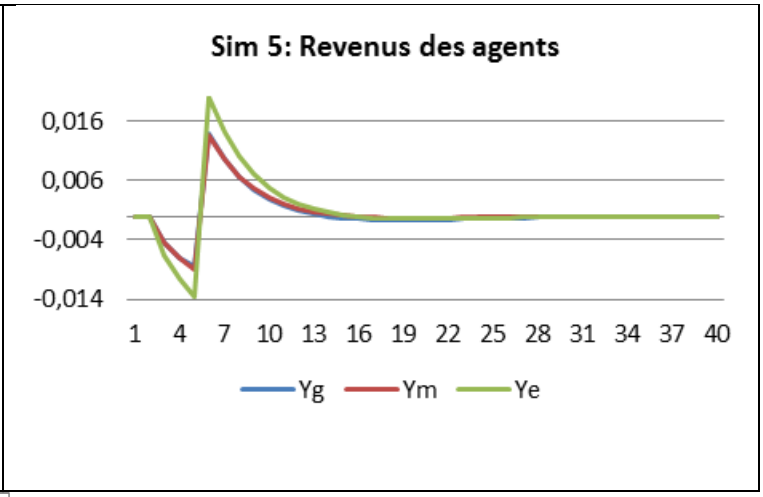
Pour la simulation 5, l'augmentation de l'offre de bois aura des conséquences positives sur le PIB à court terme et plus particulièrement durant la période où l'offre de bois est augmentée, mais par la suite, la croissance du PIB est inférieure au taux de croissance du BAU et le niveau de croissance demeure plus faible jusqu'à la 30ième période approximativement. Ceci indique que l'économie mettra plus de 20 pour retrouver son rythme de croisière du BAU.

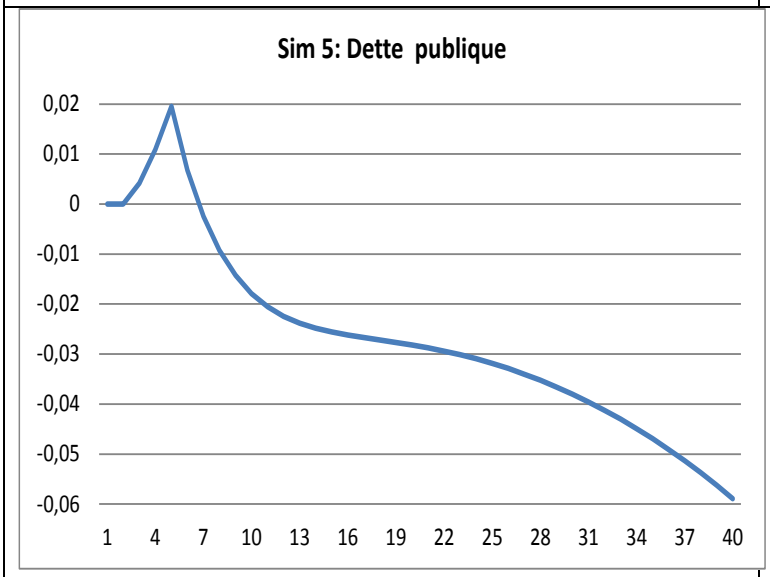
Au niveau du revenu des agents, celui-ci chute durant la période d'augmentation d'offre de bois pour augmenter par la suite. C'est le revenu des entreprises qui est le plus sensible à ce choc même si la tendance est assez proche pour les trois agents. Le revenu du ménage représentatif et du gouvernement sont affectés pratiquement de la même façon par ce choc car nous ne pouvons pas bien distinguer les deux courbes sur le graphique ci-dessus. L'écart pour le revenu des entreprises vient de l'effet différencié sur les rémunérations du capital et du salaire.

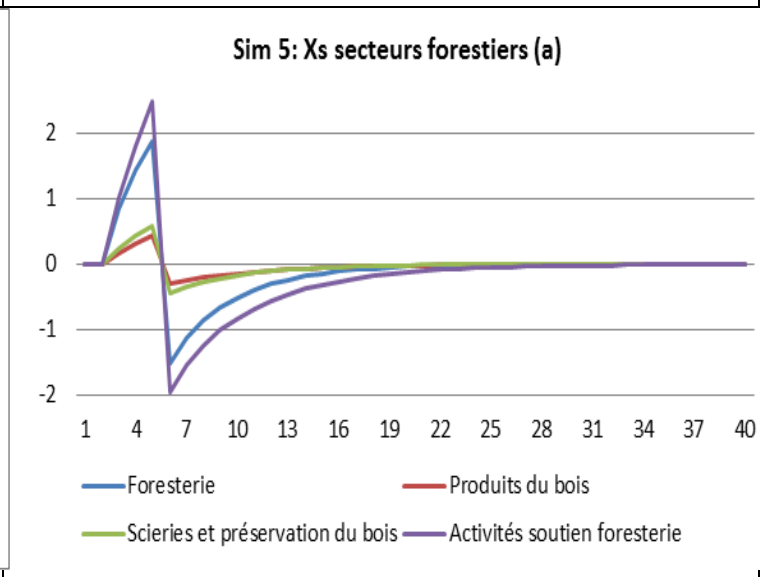
L'évolution de la dette progresse dans un premier temps pour commencer à diminuer à partir de la période 5 jusqu'à la fin de la résolution du modèle. Les gains en revenu du gouvernement de l'année 5 à 13 par rapport au BAU permettent de réduire l'endettement suffisamment pour générer un effet cumulatif positif de réduction de la dette. Nous nous retrouvons donc avec un niveau d'endettement de 0,06% inférieur au BAU à la fin de la résolution.

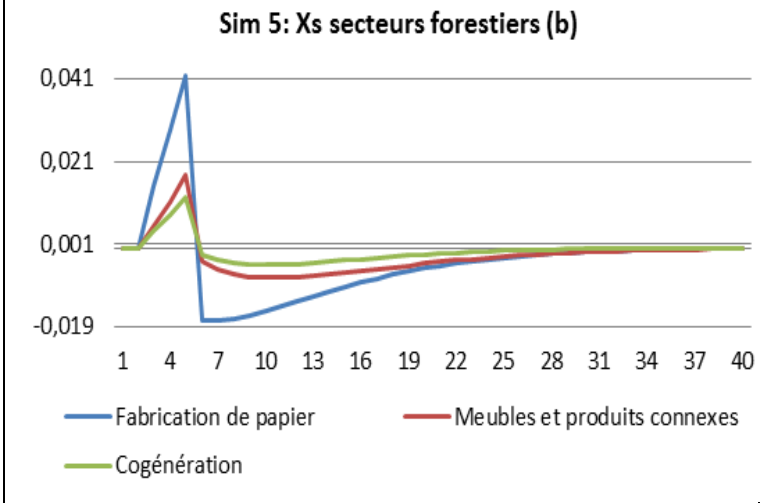
**Tableau 8 : Simulation 5, variables macroéconomiques et production**



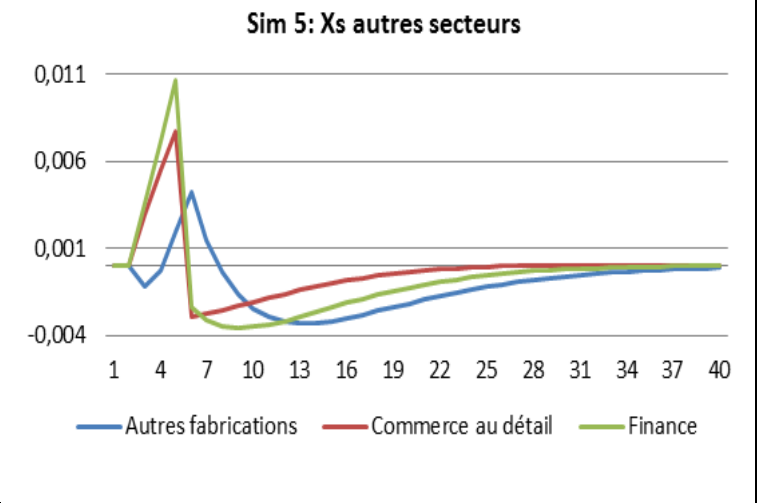
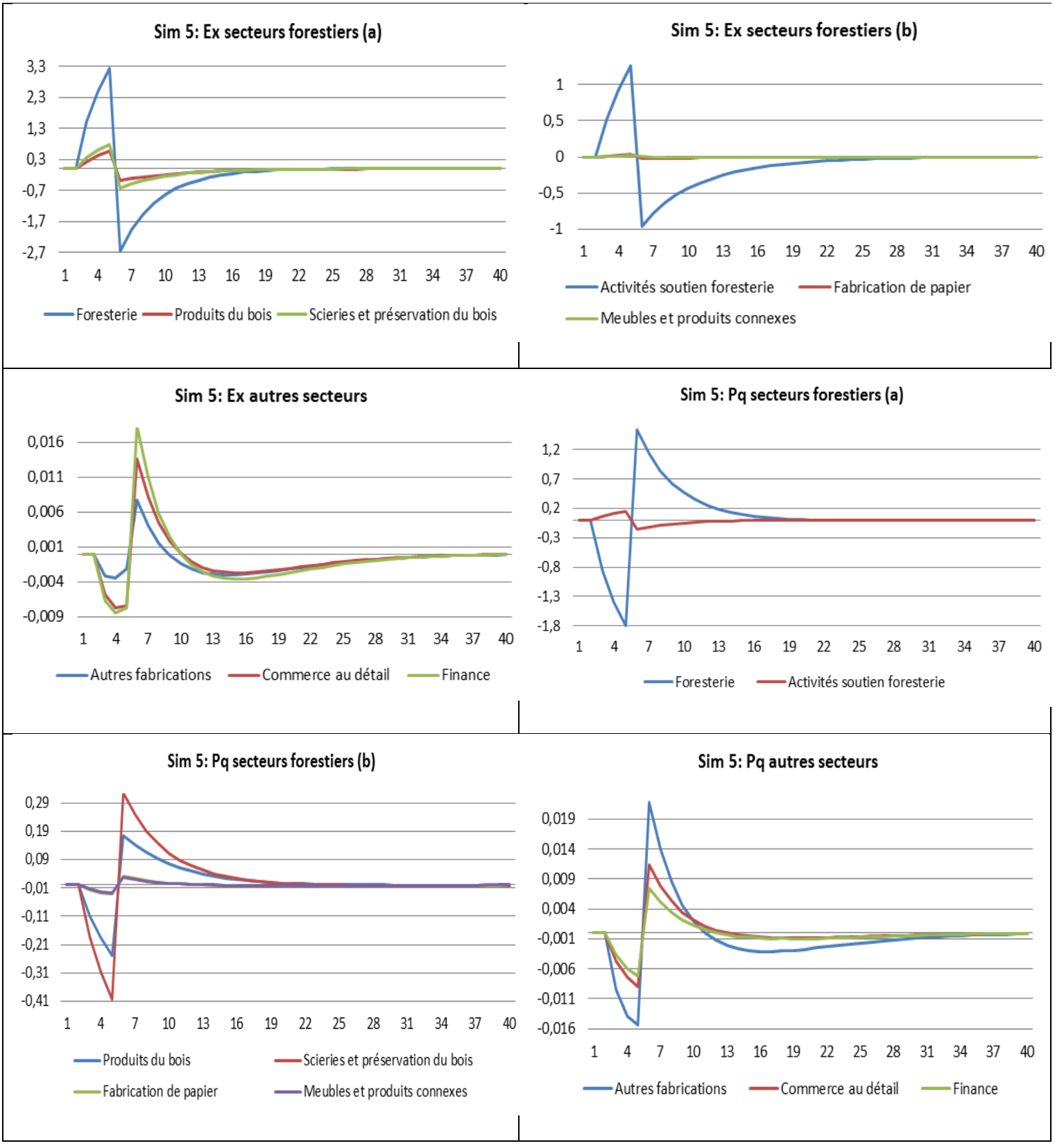



**Tableau 9 : Simulation 5, exportations et prix**



Au niveau sectoriel, pour les branches forestières nous observons donc l'impact direct et positif de l'augmentation de l'offre de bois avec les secteurs de la foresterie et soutien à la foresterie qui augmentent autour de 2% de plus que pour le BAU. Les branches produits du bois et scieries et préservation du bois augmentent elles aussi mais à une rythme plus faible à savoir autour de 0,5% comparé au BAU. Pour les périodes qui suivent la fin de l'augmentation de l'offre de bois nous avons une chute du PIB sous le niveau du BAU. Les branches scieries et produits du bois retrouvent le niveau de croissance du BAU autour de la 15$^{ième}$ année alors que les secteurs foresteries et soutien à la foresterie mettent plus de temps avec un retour vers la 20ième année. Ceci s'explique par le choc négatif plus important sur ces deux derniers secteurs à partir de la sixième année.

Nous avons un effet similaire mais moins fort pour les trois autres secteurs de l'industrie forestière avec la branche fabrication de papier qui augmente sa production de 0,4% de plus que la BAU alors que pour meubles et produits connexes et la cogénération, l'augmentation est de 0,15 et 0,1% respectivement à la 5$^{ième}$ année. Par la suite, nous avons une baisse de leur production sous le niveau de BAU jusqu'à la 25$^{ième}$ année pour retrouver à peu près le niveau du BAU jusqu'à la fin de la résolution.

L'impact sur les trois autres secteurs retenus divergent dans la mesure où la branche autres fabrication commence sous le niveau de BAU pour deux périodes avant d'augmenter jusqu'à la 6$^{ième}$ période pour atteindre un sommet et redescendre jusqu'à la 14$^{ième}$ année avant de repartir à la hausse. Toutefois, ce secteur passe sous le BAU à la 8$^{ième}$ période et y reste pour l'ensemble de la résolution. Les branches de commerce au détail et de la finance partent en hausse dès la 2$^{ième}$ année au-dessus du BAU pour atteindre un sommet à la 5$^{ième}$ année et redescendre sous le BAU à la 6$^{ième}$ année pour y rester jusqu'à la fin de la résolution.

Au niveau des exportations, nous observons une hausse au-dessus du BAU dans tous les secteurs de l'industrie forestière et ce jusqu'à la 6$^{ième}$ période où celle-ci diminue brusquement pour ré-augmenter et converger vers le BAU. Ces branches convergent toutes vers autours du BAU vers la 15$^{ième}$ année sauf la branche de soutien à la foresterie qui met plus de temps pour y arriver (soit vers la 25$^{ième}$ année).

Pour les autres branches, c'est la tendance inverse avec une baisse dans la première phase, suivi d'une augmentation rapide au-dessus du BAU pour redescendre à nouveau sous le BAU vers la 10$^{ième}$ année. La convergence vers le BAU n'est pas complète même à la fin de la résolution o les exportations pour ces trois secteurs demeurent plus faibles que le BAU. Ces effets s'expliquent par l'ajustement du taux de change qui est nécessaire pour rééquilibrer la balance des opérations courantes. L'augmentation des exportations de

l'industrie forestière au début pousse la monnaie locale à s'apprécier ce qui fait chuter les exportations des autres branches, la situation s'inverse par la suite.

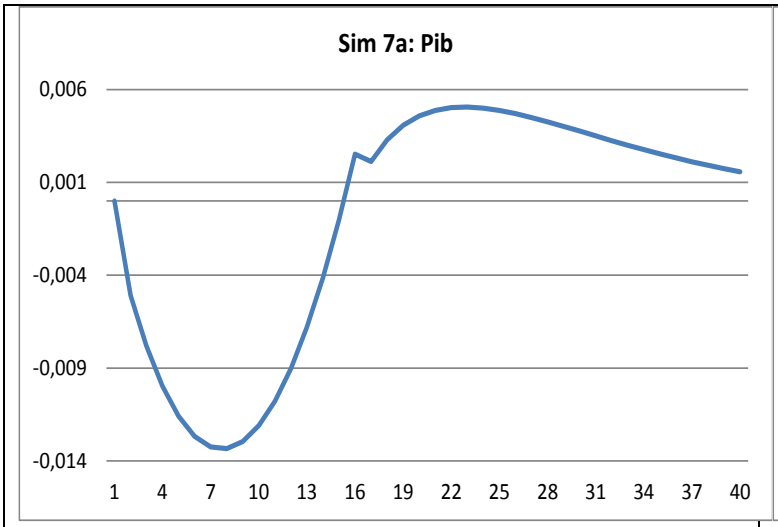
### 4.2.4 Simulation 7a : choc négatif du prix mondial du bois de 20% sur 15 ans

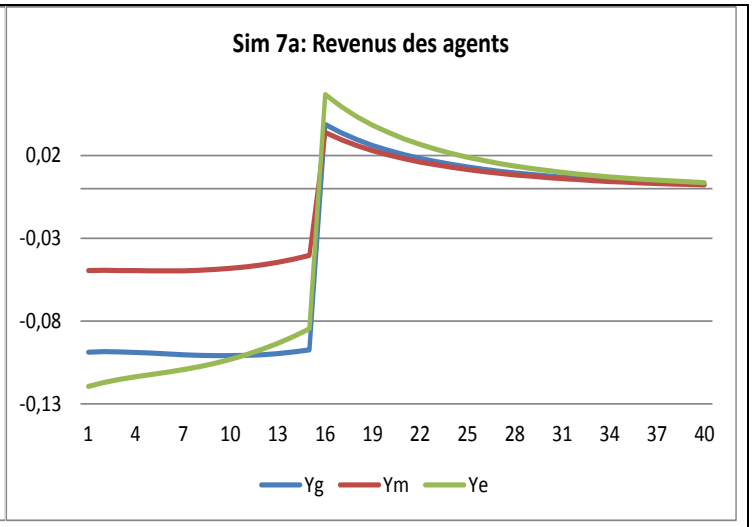
Cette simulation consiste à faire diminuer le prix mondial du bois de 20% avec une persistance sur 15 périodes. Ceci a comme conséquence de rendre le marché mondial moins intéressant pour les producteurs québécois et les importations de bois et de l'industrie forestière moins coûteuses pour les demandeurs/consommateurs domestiques. Ce choc exogène en lien avec le changement climatique produit une baisse du PIB durant les premières années avant d'avoir une inversion de la tendance à la 8$^{ième}$ année. Le PIB revient au-dessus du niveau de BAU après la fin du choc négatif, il continue de progresser jusqu'à la 23$^{ième}$ année avant de repartir à la baisse vers le niveau du BAU mais sans s'y rendre tout à fait à la fin de la résolution. À la fin de la résolution, le niveau du PIB est très faiblement supérieur au niveau du BAU, à un peu plus de 0.001%.

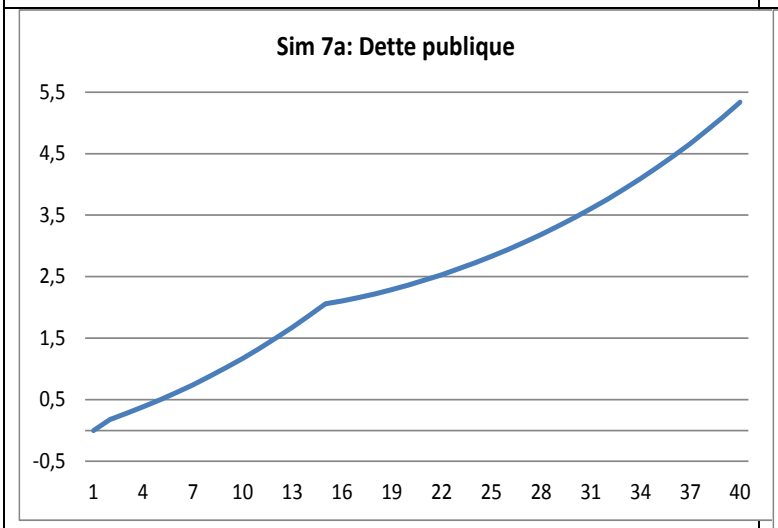
Les revenus des agents sont tout de suite affectés par ce choc négatif même si cette baisse est relativement faible. Par la suite, les revenus progressent avant de faire un saut au-dessus du niveau du BAU à la fin du choc de prix. Une fois que le pic est atteint à la 16$^{ième}$ année, les revenus convergent vers le niveau du BAU pour terminer très faiblement au-dessus. Le revenu des entreprises est le plus sensible à ce choc et celui du ménage représentatif, le moins sensible au choc. Pour ce qui est de l'endettement, la baisse du PIB et des recettes du gouvernement contribuent à la faire augmenter. Le rythme d'augmentation de la dette progresse durant le choc de prix négatif et ralentit par la suite avant de recommencer à augmenter vers la fin en lien avec l'effet cumulatif du service de la dette.

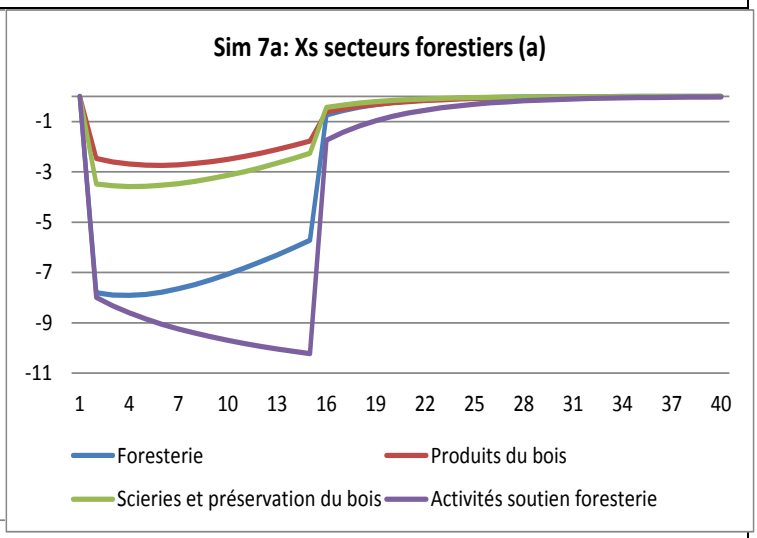
Au niveau des effets sectoriels, la forte baisse de prix a un impact direct et immédiat sur les secteurs forestiers et plus particulièrement sur la banche forestier et soutien à la foresterie. Ces deux branches voient leur production réduite de 8% à la 2$^{ième}$ année et pour la branche forestière, elle commence à progresser par rapport au BAU alors que celle du soutien à la foresterie continue de décroître jusqu'à la 15$^{ième}$ année. Cette baisse de production est directement liée à la concurrence accrue des biens importés et de la plus faible compétitivité de nos branches qui vont réduire leurs exportations. Nous avons donc une hausse des importations dans ces branches et une réduction des exportations. Pour les branches *produits du bois* et *scieries et préservation du bois*, la baisse est moins prononcée mais la diminution est quand même de l'ordre de 3%. Ces branches ont aussi une faible progression jusqu'à la 15$^{ième}$ année. Ces 4 branches profitent d'une forte croissance de la production à la 16$^{ième}$ année pour se rapprocher du BAU.

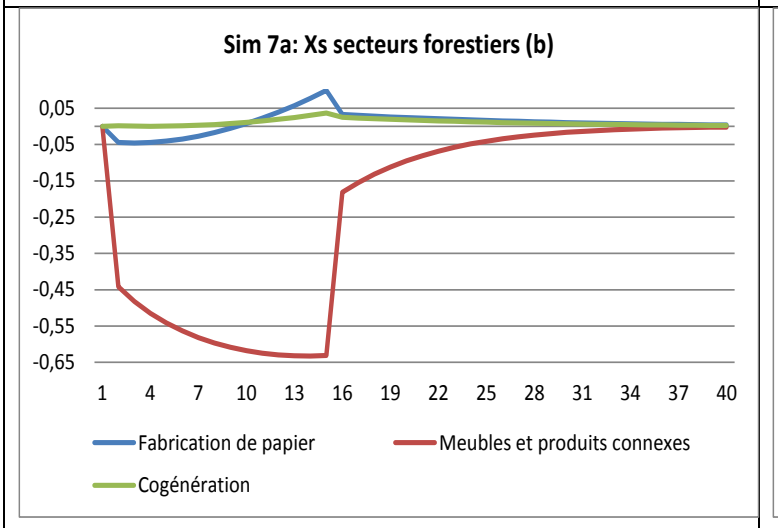
**Tableau 10 : Simulation 7a, variables macroéconomiques et production**

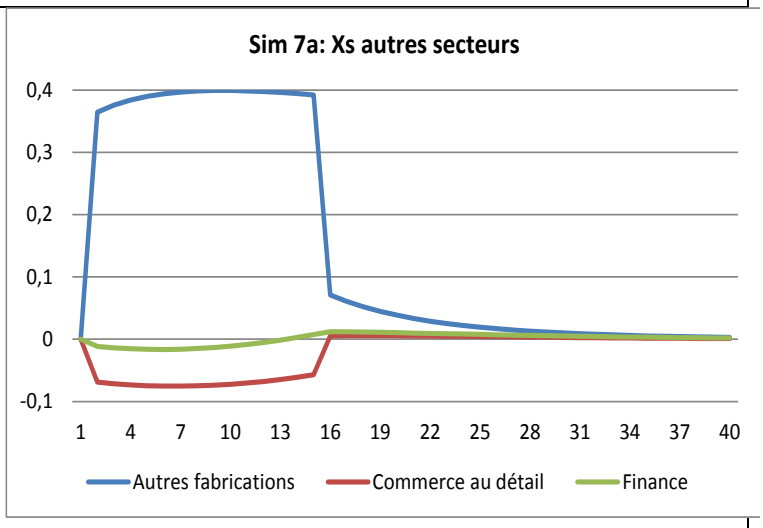


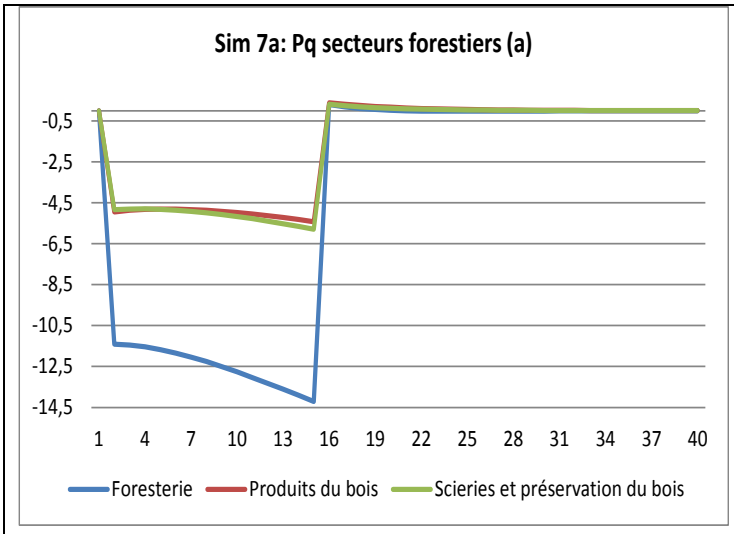



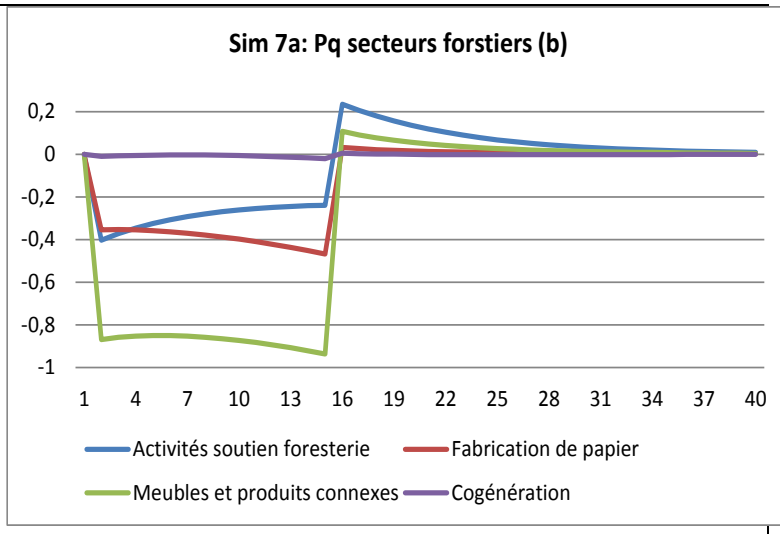



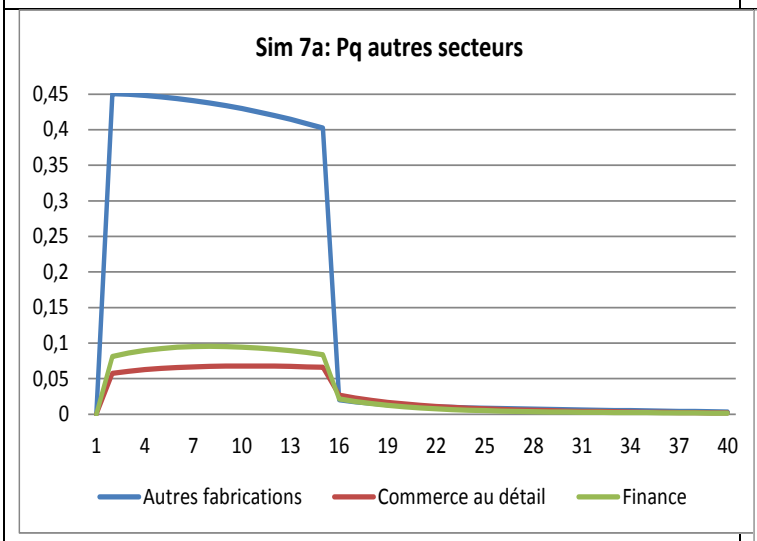



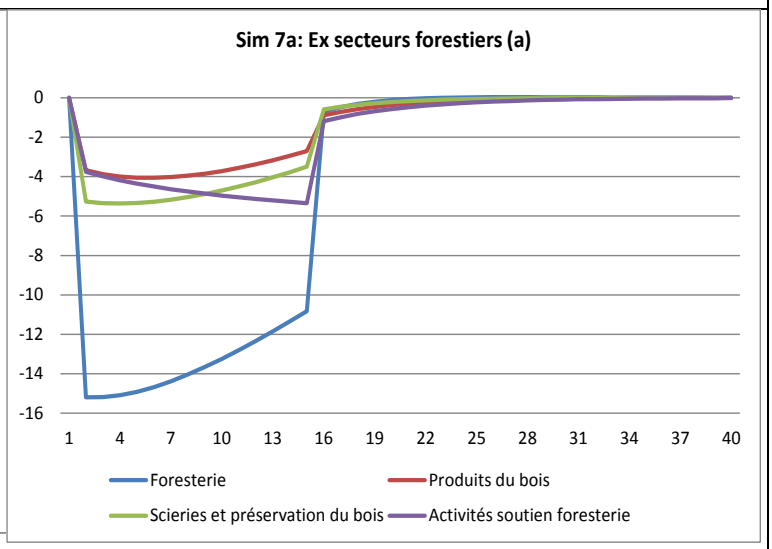



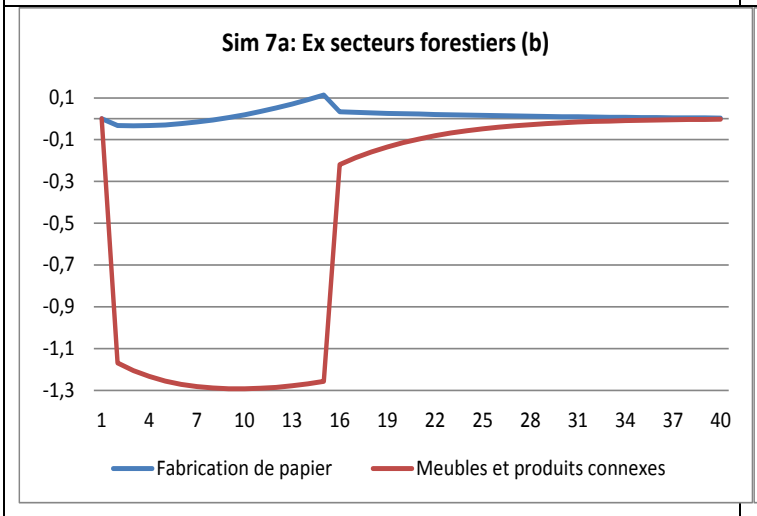
## Tableau 11 : Simulation 7a, exportations et prix

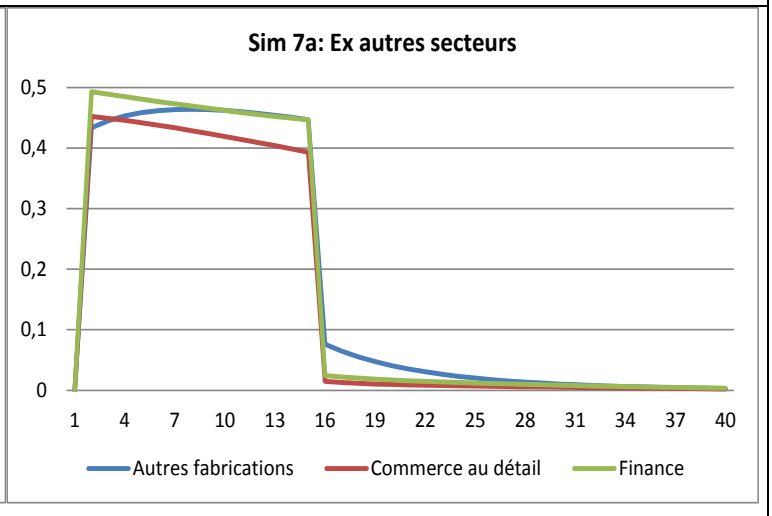


La branches de meubles et produits connexes subit une tendance similaire mais avec une amplitude plus faible alors que la branche fabrication de papier diminue sa production mais très faiblement et elle profite d'une croissance dès la 3ième année pour devenir supérieur au BAU autour de la 10ième année. Cette branche est moins pénalisée au niveau des importations et exportations et ceci est lié à l'effet de prix qui est dilué dans ses coûts totaux de production.

Pour les autres branches, nous avons une faible baisse pour le commerce au détail durant le choc négatif (15 ans), alors que la branche de la finance est très peu affectée et la branche autres productions semble profiter du choc négatif qui affecte les autres secteurs. La branche connait un niveau de production supérieur au BAU avec un bon à la 2ième année à 0,38% pour se maintenir autour de 0,4% jusqu'à la 15ième année. Par la suite, la baisse n'est pas directement au niveau du BAU mais il y a une convergence lente pour revenir au BAU autour de la 30ième année. Cette branche profite entre autre, d'une meilleure rentabilité du capital, ce qui la favorise au niveau des investissements et aussi d'un mouvement de travailleurs vers cette branche de production.

Nous l'avons déjà souligné, la baisse de prix mondial rend nos exportations moins compétitives dans les branches forestières ce qui explique la baisse dans tous les secteurs de l'industrie forestière. La baisse est très forte pour la branche foresterie avec une baisse de 15%. Pour cette branche, le niveau d'exportation repart vers la hausse mais reste en deçà de -10% jusqu'à la 15ième année. Les autres branches de l'industrie voient leurs exportations diminuer entre 1 et 5% sauf la branche de fabrication de papier. Pour les autres secteurs, la tendance est inverse avec une hausse des exportations durant le choc et un retour vers le BAU après le choc. Cette augmentation d'exportation de ces secteurs s'explique par la dépréciation de notre monnaie due à l'augmentation de nos importations dans les branches de l'industrie forestière et la baisse de nos exportations dans ces secteurs. Cette dépréciation est nécessaire pour équilibrer notre balance des opérations courantes mais elle favorise les exportations dans les autres branches de l'économie.

Pour les prix, la tendance est la même que pour les prix mondiaux avec une baisse soudaine dans toutes les branches de l'industrie forestière, un maintien à ce niveau à peu près stable durant le choc de prix, pour augmenter ensuite à la 16ième année autour du BAU. Pour certaines branches (meubles et produits connexes et activité de soutien à la foresterie), il y un dépassement du BAU pour y converger par la suite. Pour les autres branches c'est l'effet inverse qui est observé avec une hausse de prix dans la branche autre fabrication qui est près de 0,5% supérieur au BAU durant presque 15 ans.

### 4.2.5 Simulation 9a : adaptation par un programme de construction de routes forestières financé par la TVQ, combinée à une diminution de la productivité forestière de 3%

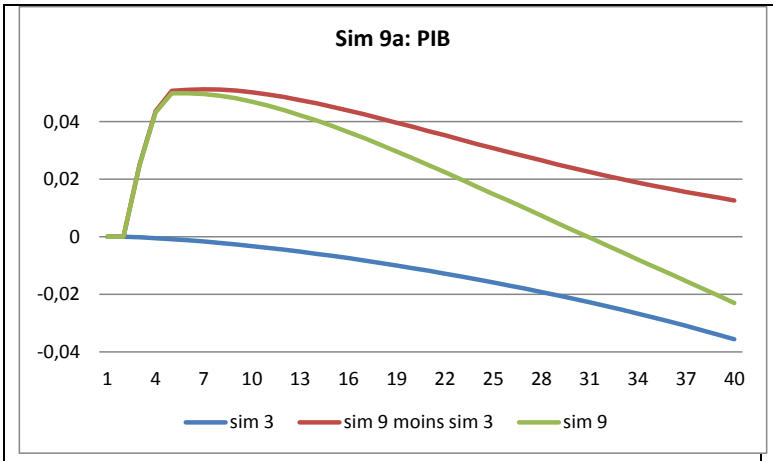
Cette simulation consiste à associer un programme d'adaptation avec le choc négatif de productivité pour le secteur forestier de 3% associé aux changements climatiques. Rappelons que ce programme consiste à construire des routes forestières afin de faciliter l'accès aux forêts. Comme nous l'avons expliqué dans la présentation du modèle, nous supposons que ces investissements produisent un effet d'externalité positive sur la productivité des secteurs forestiers et du soutien à la foresterie. De ce fait, le programme vient réduire les effets négatifs des CC sur presque toute la période de résolution.

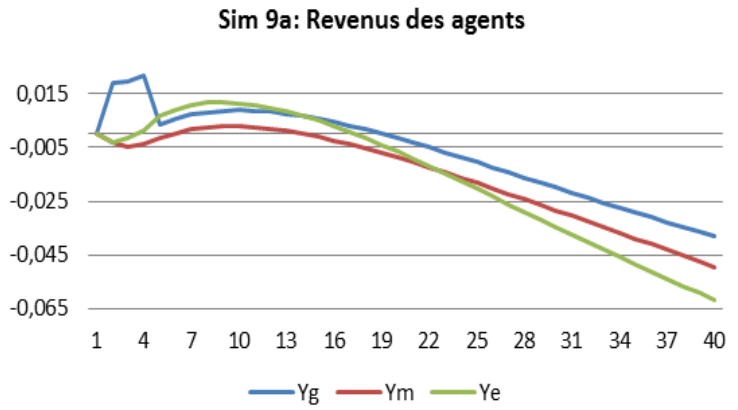
Afin d'analyser l'impact sur le PIB, nous présentons la simulation 3, la simulation 9a sans la simulation 3 et la simulation 9a au complet. Ceci permet d'isoler les effets qui proviennent de chaque composante de cette simulation. Nous remarquons que le programme de construction routière a un effet positif sur l'ensemble de l'économie mais qu'après la fin du programme, la dépréciation dans le temps de ces routes forestières implique que les gains s'estompent. À partir de la 30$^{ième}$ année, le PIB croît à un rythme inférieur au scénario BAU. Le programme permet donc, étant donné les hypothèses postulées, d'atténuer l'impact négatif des changements climatiques sur l'économie québécoise.

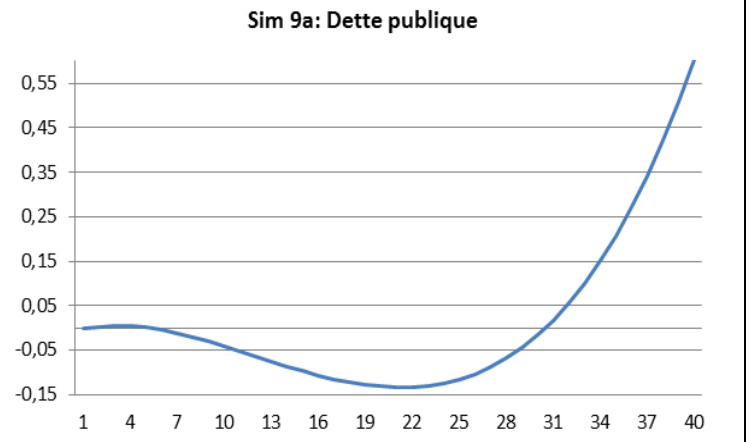
Au niveau du revenu des agents, les recettes du gouvernement augmentent dans la première phase car les taux ont été augmentés pour financer le programme de construction routière. Après la fin de programme, le revenu du gouvernement chute car la taxe baisse à son niveau initial. Durant la phase où les effets de productivité des routes forestières sont les plus élevés (année 5 à 12), les revenus de tous les agents progressent par rapport au BAU mais par la suite ceux-ci sont en décroissance. Ils passent sous le niveau du BAU à la 14$^{ième}$ année pour le revenu du ménage agrégé, à la 18$^{ième}$ année pour les entreprises et au bout de 20 ans pour le revenu du gouvernement.

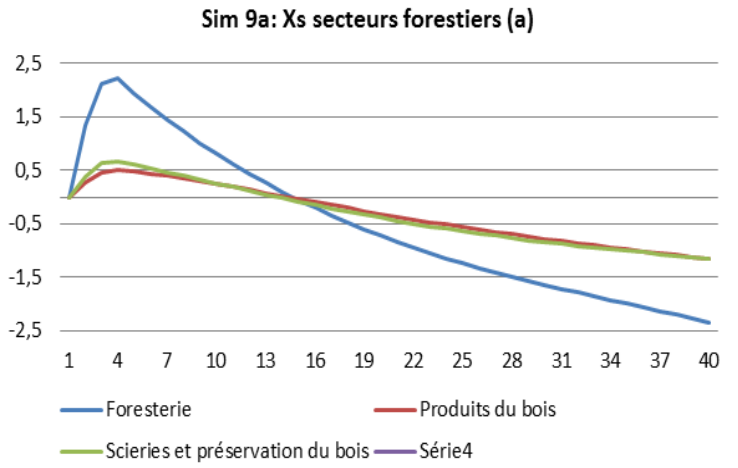
Pour l'endettement du gouvernement, la hausse des revenus traité plus haut sert essentiellement à financer le programme d'infrastructure et, par conséquent la dette reste stable jusqu'à la fin du programme. Par la suite nous observons une diminution de l'endettement en lien à la progression du PIB plus rapide que le BAU et à partir de la 20$^{ième}$ année, l'endettement repart à la hausse (en lien avec les revenus des agents et le PIB qui sont en baisse à partir de cette année). Nous remarquons encore une fois que la progression de la dette est rapide et se fait à un taux croissant du fait de l'effet cumulatif du service de la dette.

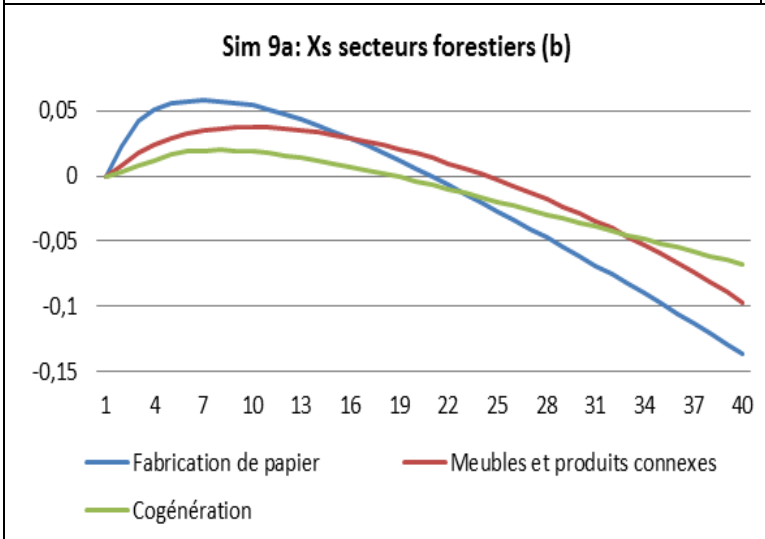
**Tableau 12 : Simulation 9a, variables macroéconomiques et production**



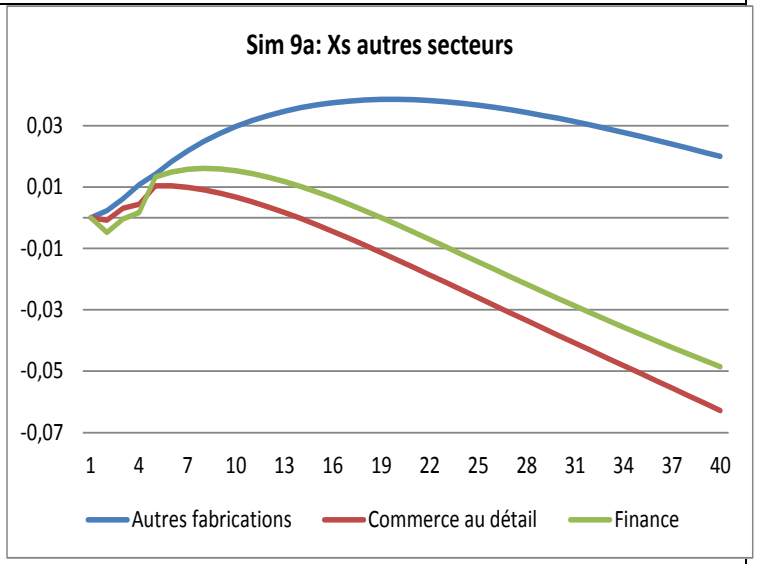
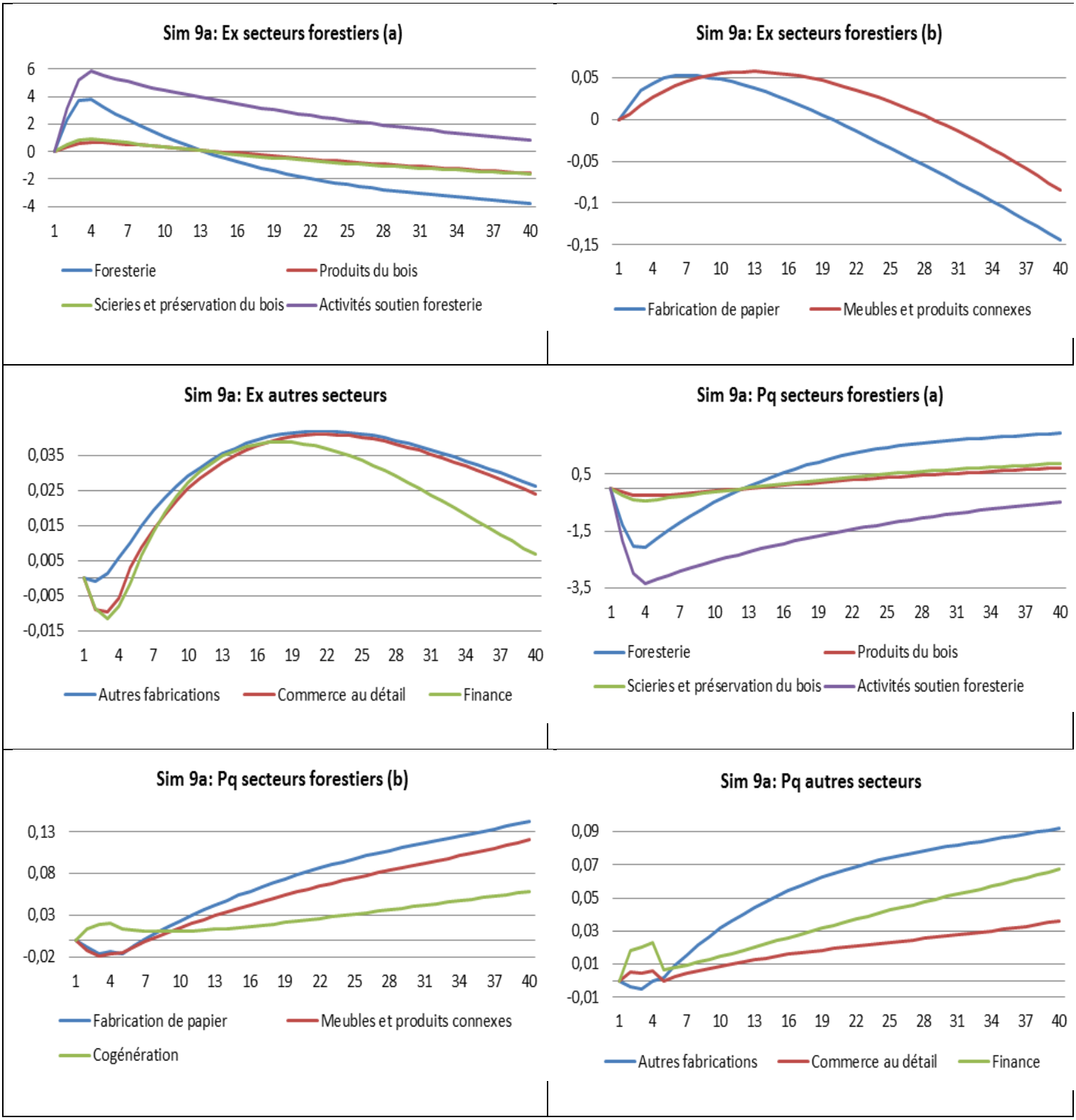



**Tableau 13 : Simulation 9a, exportations et prix**



Au niveau sectoriel pour les branches forestières, l'effet est imposé à travers les deux chocs de productivité sur la branche forestière. Le double effet de productivité inverse nous donnent une augmentation de l'offre jusqu'à 2,3% pour la branche forestière avant que celle-ci ne diminue pour passer à un niveau plus faible que le BAU à partir de la 15$^{ième}$ année. Pour les deux autres branches (produits du bois et scieries et préservation du bois), l'augmentation par rapport au BAU est plus faible 0,6% et le niveau passe sous le BAU vers la 13$^{ième}$ année. Par contre, pour la suite de la résolution, le secteur forestier décroît plus que les deux autres secteurs pour terminer autour de -2,4% alors que pour les deux autres secteurs, c'est un niveau d'environ 1% sous le BAU. Cette plus forte amplitude vient du fait que cette branche est affectée directement par les deux chocs.

Nous avons la même tendance pour les quatre autres secteurs forestiers mais avec une amplitude des chocs plus faibles comme ceux-ci dépendent moins fortement du prix du bois pour leurs intrants intermédiaires.

La productivité des trois autres secteurs progressent pendant les cinq premières années. Les secteurs de commerce au détail et la finance commencent à diminuer pour passer sous le niveau de BAU à la 13$^{ième}$ année pour le commerce au détail et à la 19$^{ième}$ pour la finance. Dans le cas de la branche autres fabrication, elle atteint son maximum à la 19$^{ième}$ année avant de diminuer mais elle reste au-dessus du niveau de BAU tout au long de la résolution. Cette plus forte progression s'explique par deux facteurs à savoir une progression moins forte pour le prix des intrants du secteur manufacturier ainsi que la progression plus importante du taux de rendement du capital. Ce dernier permet au secteur de profiter d'avantage des investissements et donc de contribuer à sa croissance plus forte.

Sans entrer dans une analyse détaillée de l'évolution des prix, nous pouvons souligner que les prix des produits forestiers sont à la baisse pour les périodes où l'offre s'accroît et ceci permet d'équilibrer le marché et l'inverse lorsque nous observons une diminution dans l'offre. Il faut souligner que le prix des intrants et facteurs interviennent aussi dans les variations de prix par rapport au BAU.

Dans le cas du prix des autres secteurs, c'est moins l'effet d'offre qui joue car nous observons une progression du prix en parallèle à l'augmentation de l'offre de la branche autres fabrications. Dans ce cas, ce sont les éléments de la demande qui interviennent pour expliquer cette situation. Par exemple, la branche *commerce au détail* profite de l'augmentation de l'investissement sur les 15 premières années car elle est la première à fournir des biens d'investissement. La branche *autres fabrications* profite aussi d'exportations qui sont supérieures au BAU tout au long de la résolution.

Cette simulation produit des effets favorables pour les exportations des biens et services de l'industrie forestière et les deux facteurs y contribuant sont les baisses de prix et l'augmentation de la production. Pour les activités de soutien à la foresterie, le niveau des exportations reste supérieur au BAU tout au long de la résolution alors que pour la foresterie, le niveau passe sous le BAU à la 13$^{ième}$ année tout comme pour les secteurs de produits du bois et scieries et préservation du bois. Les branches meubles et produits connexes et fabrication de papier profitent plus longtemps d'exportations supérieures au BAU.

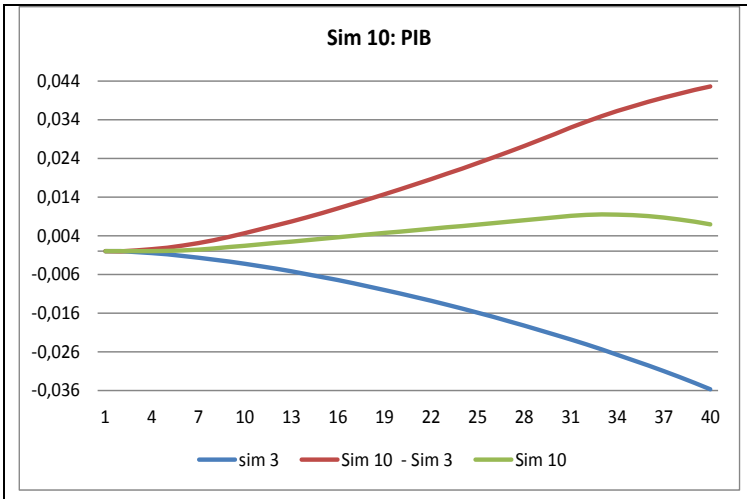
Les exportations des autres sont en progression par rapport au BAU à partir de la 5$^{ième}$ année et reste au-dessus tout au long de la résolution avec une tendance similaire pour les trois branches sélectionnées. La branche finance profite un peu moins des exportations à partir de la 18$^{ième}$ année.

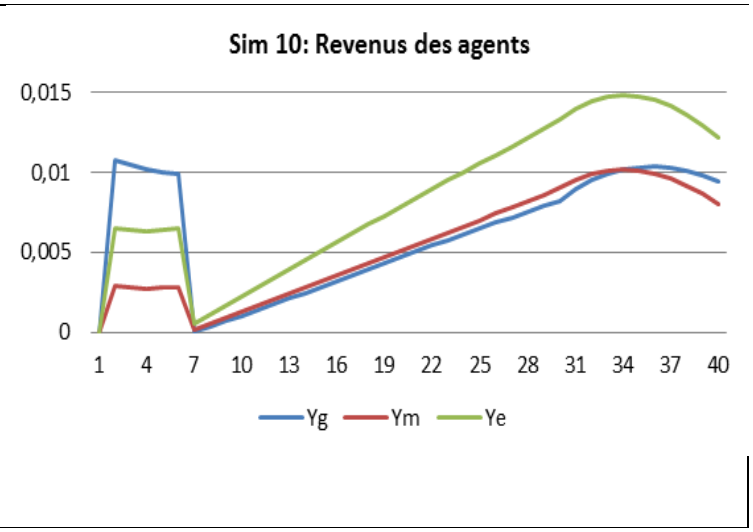
### 4.2.6 Simulation 10 : adaptation par le soutien à la foresterie conjointement à la simulation 3,

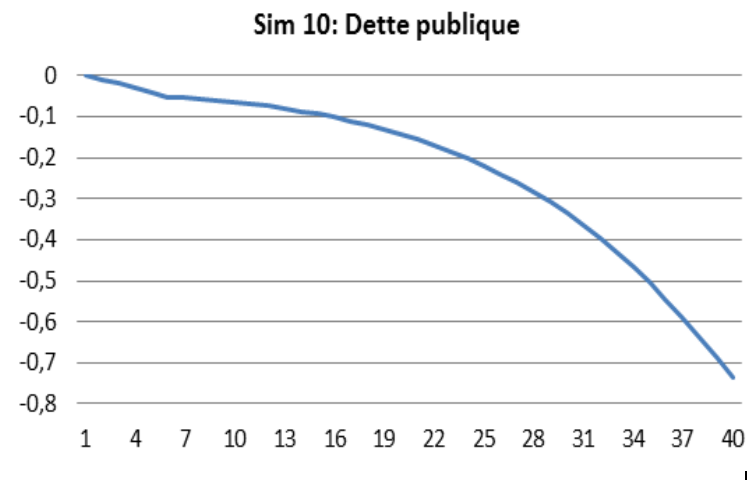
Cette simulation vise à mettre en place un programme ciblant le secteur de soutien à la foresterie appliqué conjointement à la simulation 3. Ce programme d'adaptation aura des effet de productivité positif sur la branche forestière. Pour le PIB, nous décomposons la simulation pour isoler la simulation 3, le programme d'adaptation et la simulation réalisée, qui associe ces deux chocs. Le PIB est légèrement supérieur au BAU avec une progression de l'écart jusqu'à la 30$^{ième}$ année. Ce programme vient donc atténuer les effets négatifs du réchauffement climatique. Il est important de souligner que l'ampleur des effets positifs du programme est imposée dans le modèle.

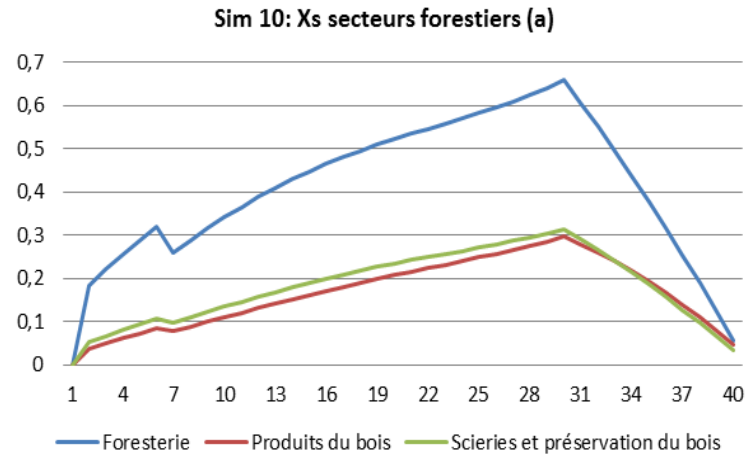
Pour le revenu des agents, nous avons aussi une situation où celui-ci est supérieur au BAU tout au long de la résolution. Durant la période du programme, les revenus font un saut au-dessus du niveau de BAU avant de redescendre à la 7$^{ième}$ année pour recommencer à progresser jusqu'à la 35$^{ième}$ année et enfin redescendre un peu jusqu'à la fin de la résolution. Ceci s'explique par l'activité dans les branches de l'industrie forestière durant le programme et la baisse est lié à la fin du programme. La hausse progressive suit la tendance du PIB et à la fin des effets de productivité après 30 ans, réduit le gap positif pour le revenu des trois agents. Nous avons une progression plus forte du revenu du gouvernement pour la période précédant la 7$^{ième}$ année mais ceci est directement lié à la hausse de la taxe qui finance le programme d'adaptation. Le revenu du ménage agrégé est celui qui augmente le moins pour cette période. Par la suite, c'est le revenu des entreprises qui progresse le plus et le revenu du gouvernement et du ménage ont une progression semblable jusqu'à la fin de la résolution.

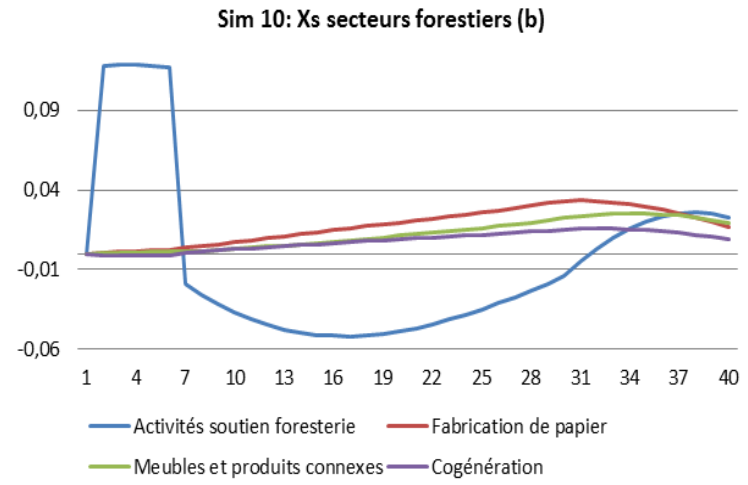
**Tableau 14 : Simulation 10, variables macroéconomiques et production**



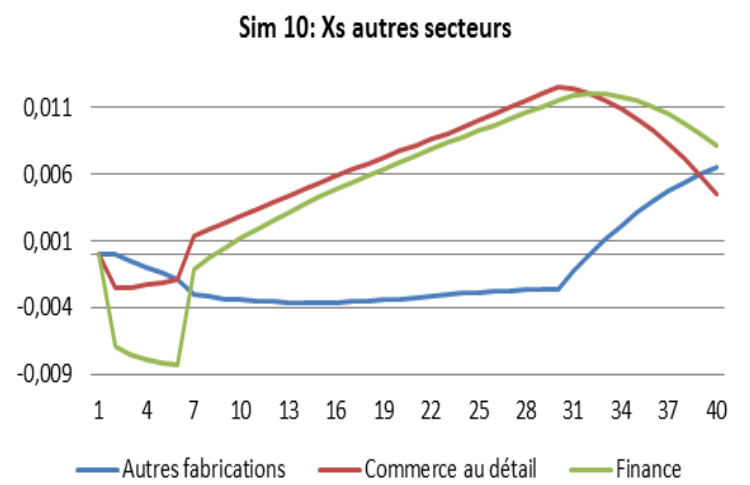
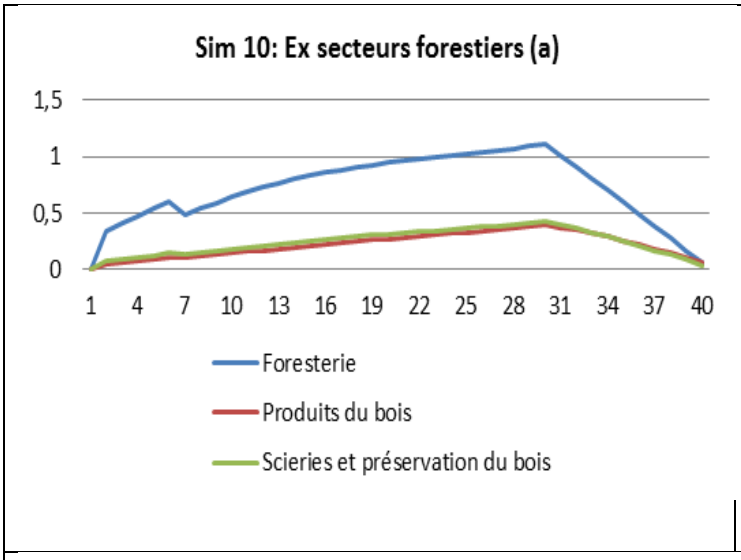
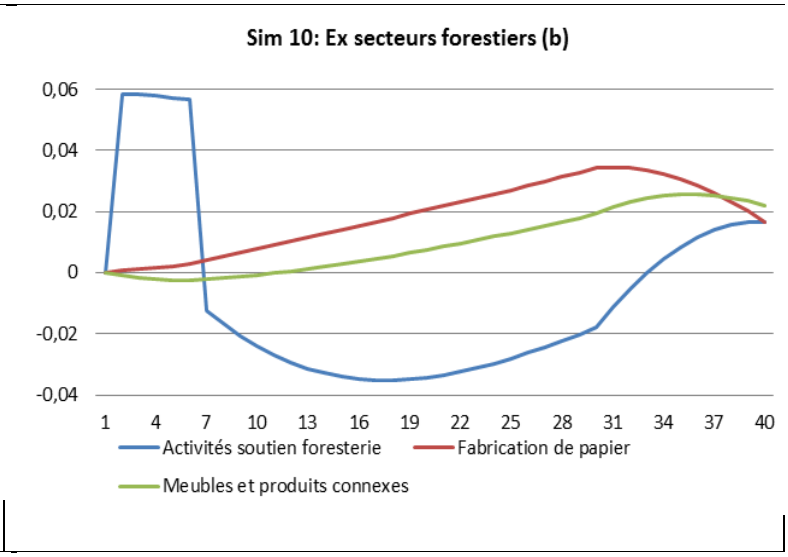
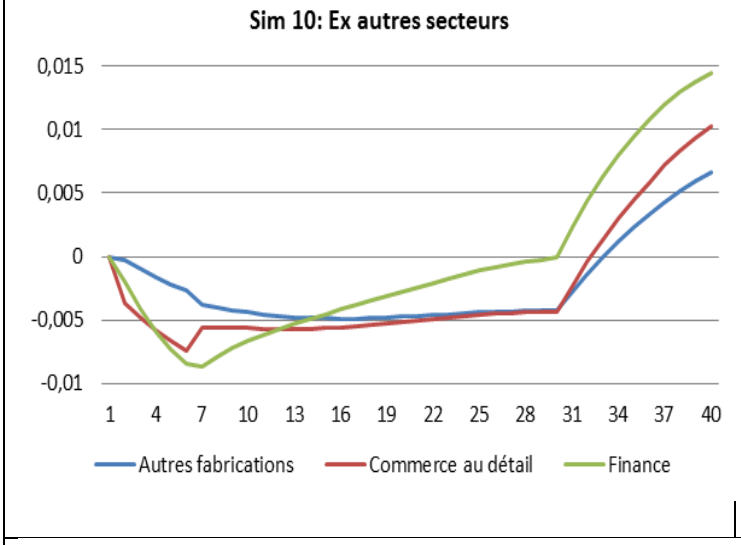
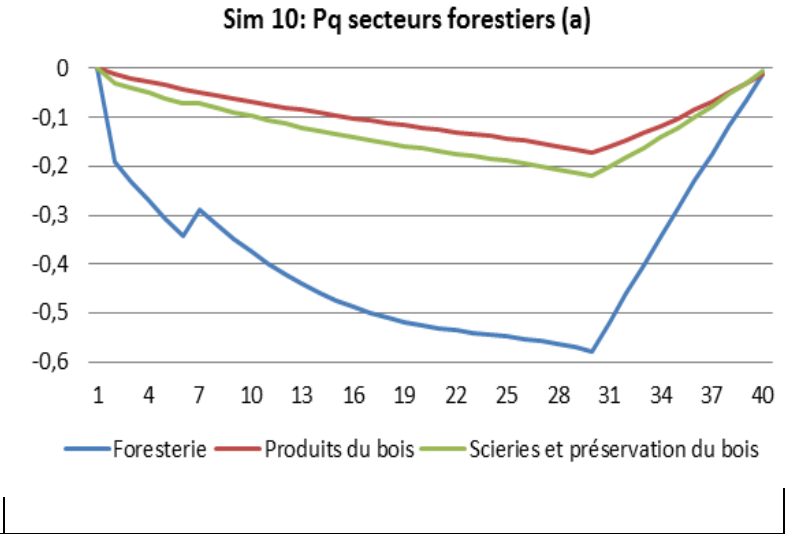



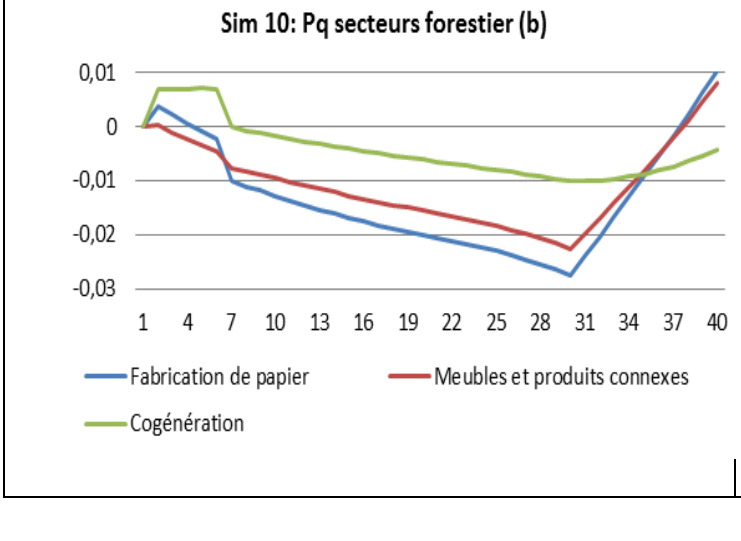
**Tableau 15 : Simulation 10, exportations et prix**

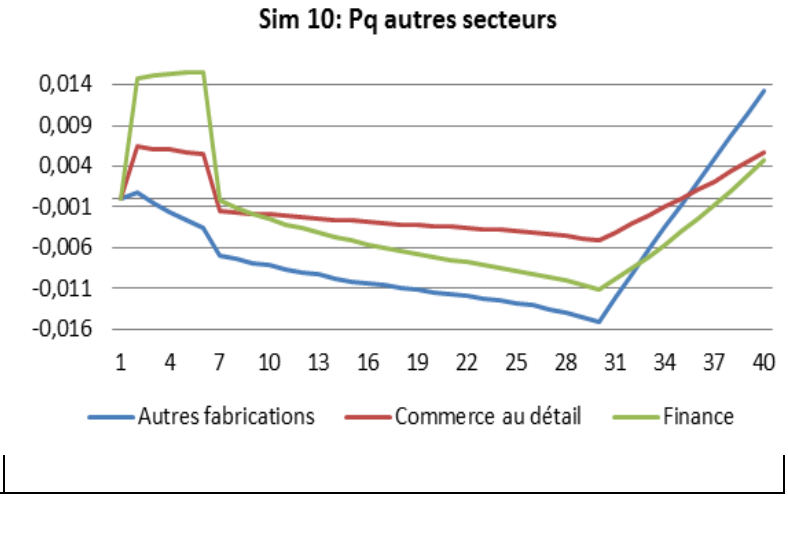


Comme le PIB est toujours supérieur au BAU, l'endettement diminue jusqu'à la fin de la résolution. La diminution est faible au départ et commence à s'accélérer à partir de la 15ième année et comme pour les autres simulations, l'effet cumulatif en lien avec la réduction du fardeau de la dette, implique une progression de plus en plus rapide de la décroissance de la dette.

Pour cette simulation, nous observons un effet positif sur la production forestière en lien avec les gains de productivité directe ainsi que des effets positif indirects à travers associé à la baisse des coûts en consommation intermédiaire provenant de la branche *soutien à la foresterie*. Pour les autres branches de l'industrie forestières (hors foresterie et soutien à la foresterie), elles profitent essentiellement de la baisse des prix de la branche forestière. Tout au long de la résolution, la situation est plus favorable au niveau de la production pour ces secteurs bien que nous observons une diminution de l'écart positif après la fin des effets du programme (à 30 ans). Par la suite, il y a une baisse de l'écart même si celui-ci demeure supérieur par rapport au BAU.

Comme le programme consiste à subventionner la branche soutien à la foresterie, ceci favorise ce secteur qui, par la baisse de son prix, augmente sa production pour la durée du programme. Par la suite, la production du secteur diminue sous le niveau du BAU et la baisse continue jusqu'à la 17ième année. La production progresse ensuite jusqu'à la fin de la résolution pour repasser au-dessus du niveau de BAU vers la 32ième année. La demande liée à la progression du secteur forestier vient renverser la tendance pour la remontée du secteur de soutien à la foresterie vers cette 32ième année. Pour les autres secteurs, nous observons une baisse durant le programme (jusqu'à la 6ième année) et par la suite, les branches de commerce de détail et finance repartent en hausse par rapport au BAU jusqu'à la 30ième année alors que la branche autres fabrications diminue très faiblement et reste relativement stable pour partir à la hausse à la 30ième année. Elle passe au-dessus du niveau du BAU à la 34ième année. Cette hausse s'explique par la progression rapide des prix et rémunération du capital du secteur mais aussi parce que cette branche semble profiter de la libération de facteurs de production des autres secteurs (forestiers et non forestiers). Les exportations des branches forestières suivent la même tendance que la production et c'est justement la hausse de production et la baisse de prix de ces secteurs qui viennent contribuer à cette hausse d'exportations. La baisse de prix augmente la leur compétitivité et favorise les exportations.

Il est quand même intéressant de souligner que la branche meubles et produits connexes subit une diminution de ses exportations par rapport au BAU jusqu'à la fin du programme (6ième année) pour repartir ensuite à la hausse. Ceci s'explique par deux facteurs observés durant cette période. D'une part, la production n'augmente pas par rapport au BAU et d'autre part, la baisse de prix de ce secteur est inférieure à l'appréciation de la monnaie domestique. L'effet de changement de prix relatif ne permet donc pas de favoriser les exportations pour cette branche. Avec la baisse de

prix qui s'accentue dans le temps et la production qui progresse plus vite que le BAU, il y a une inversion de la tendance ce qui donne une augmentation des exportations à partir de cette période.

Pour les autres secteurs, c'est l'effet de l'appréciation de la monnaie domestique qui produit cet effet négatif sur les exportations jusqu'à la 30ième année et l'inversion de la tendance pour la valeur de la monnaie domestique est à la source de la progression des exportations pour les autres secteurs après la 30ième année. Pour la branche autres fabrication, l'augmentation de la production contribue aussi à cette progression.

Comme pour la simulation précédente, c'est l'effet d'offre qui influence le plus les prix du marché dans les branches forestières. Pour la branche *soutien à la foresterie*, c'est l'effet direct du programme de subvention du secteur qui explique l'évolution de ce prix tout au long de la résolution soit une baisse de prix en lien avec la subvention et une réduction de l'écart par rapport au BAU pour se retrouver autour du BAU. À partir de la 33ième année, le prix passe au-dessus du BAU pour ce secteur[17]. Les tendances pour les autres secteurs forestiers sont les mêmes, à savoir une baisse jusqu'à la fin des gains de productivité (30 ans) et une progression par la suite pour terminer à un niveau supérieur au BAU dans toutes les branches forestières à l'exception de soutien à la foresterie.

Pour les autres branches, nous observons une hausse temporaire durant le programme de subvention, qui est liée à la hausse de la TVQ pour financer le programme, et une baisse par la suite jusqu'à l'année 30, suivie d'un renversement de situation. La branche *autres fabrications* suit la même tendance sauf qu'il n'y a pas de bon temporaire dans le prix de ce secteur. Ceci vient du fait que l'offre de secteur durant la période diminue moins que pour les deux autres secteurs.

### 4.2.7 Autres simulations

Nous ne ferons pas une analyse détaillée des résultats des autres simulations qui sont présentés en annexes. Seuls sont présentés le PIB, le revenu des agents et la production des branches de l'industrie forestière. Nous soulignons quelques grandes tendances observées pour ces simulations. La simulation 2 offre des résultats très similaires à la première simulation mais avec une amplitude plus importante des effets bien que nous n'observons pas tout à fait un doublement dans les écarts avec le BAU. Au niveau de la simulation 3, nous observons les mêmes tendances que pour la simulation 4 présentée ci-dessus mais avec une amplitude plus faible comme le choc négatif est de 3% au lieu de 6%. Pour la simulation 6a, qui est la combinaison de la simulation 1 et de la simulation 5, nous observons les mêmes tendances que pour la simulation 5 mais avec une atténuation des segments sous le BAU et une accentuation

[17] Nous ne présentons pas le prix du marché du secteur de soutien à la foresterie car la subvention fait baisser le prix à tel point que nous ne pouvons pas voir les variations des autres prix sur le graphique. Cette variation de prix écrase les autres variations de prix sur le graphique.

des segments au-dessus du BAU. Ceci vient de l'impact positif du gain de productivité dans la branche forestière qui se répercute dans le reste de l'économie. Pour la simulation 6b, c'est l'inverse que nous observons avec une diminution des écarts avec le BAU lorsque les courbes sont au-dessus du BAU et une accentuation des écarts avec le BAU dans les portions où les courbes sont en dessous du BAU car le choc de productivité à la baisse associé à la simulation 3 pousse les courbes vers le bas.

La simulation 7b, qui consiste en un choc négatif sur la demande mondiale du bois québécois, génère des baisses pour les variables présentées. Durant la période de la baisse de la demande mondial du bois, nous observons une baisse temporaire de presque 0,07% du PIB à son point de baisse la plus forte. Nous observons une tendance similaire pour les revenus des agents avec des baisses de 0,18% à la $5^{ième}$ année pour le revenu des entreprises, 0,08% pour le revenu du gouvernement et 0,05% pour le revenu du ménage.

Pour les deux simulations 8a et 8b, nous avons le même genre d'effet que pour les deux simulations 6a et 6b. Nous observons ainsi, pour la simulation 8a, que les effets positifs par rapport au BAU de la simulation 7a sont amplifiés et les effets négatifs sont atténués. Pour la simulation 8b, les effets positifs sont atténués par le choc négatif de productivité et les effets négatifs par rapport au BAU sont amplifiés. Finalement, pour a simulation 9b, les effets au niveau sectoriel sur les branches de l'industrie forestière ont pratiquement les mêmes que pour la simulation 9a. Toutefois, pour ce qui est des effets sur le PIB, il augmente un peu plus sur le court terme et le revenu du gouvernement augmente moins (par rapport à la simulation 9a) Pour le revenu du gouvernement, ceci vient du fait que nous n'augmentons pas la taxe pour cette simulation. Comme la dette finance le programme, nous observons une croissance de la dette plus importante. Celle-ci termine en croissance de 1% par rapport au BAU comparé à 0,6% pour la simulation 9a à la fin de la résolution.

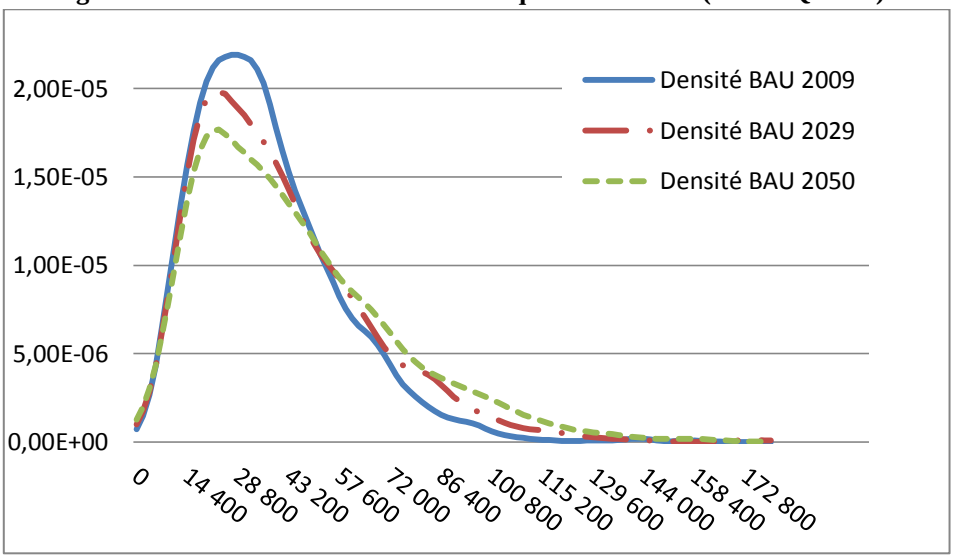
# 5. Analyse distributive

## 5.1 Évolution de la distribution de revenu au cours du temps

Commençons par regarder l'évolution temporelle de la distribution des revenus à l'échelle du Québec, en prenant en considération l'évolution démographique de la province pour les 40 prochaines années. La Figure 3 rapporte les distributions des revenus exprimés en équivalent adulte[18] dans le scénario de référence ou *business as usual* (BAU) pour 2009, 2029 et 2050.

[18] L'équivalent adulte permet de convertir le revenu familiale en revenu par personne mais en accordant un poids plus faible au deuxième adulte et aux enfants du fait des économies d'échelle dans le ménage. Nous avons utilisé la règle appliquée par le ministère de l'emploi et de la solidarité sociale du Québec à savoir la racine carrée du nombre d'individu dans le ménage.

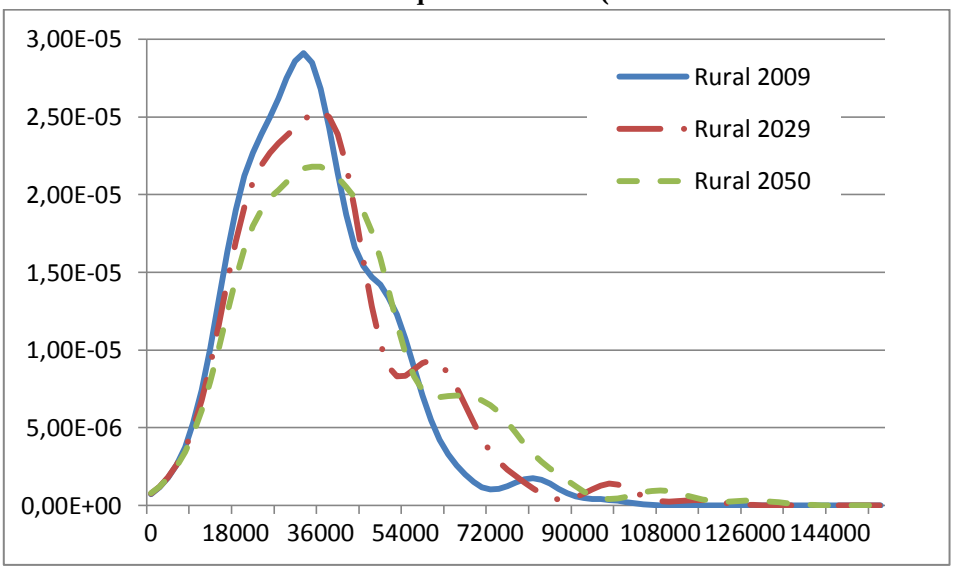
**Figure 3 : Distributions des revenus en équivalent adulte (BAU - Québec)[19]**




Source : EDM et calculs effectués par les auteurs.

Nous observons que la distribution de revenu s'aplatit au cours du temps et se déplace vers la droite. Ceci nous laisse donc entrevoir que le Québec dans la situation actuelle, devrait connaitre une baisse de la pauvreté accompagnée d'une augmentation des inégalités au cours des quarante prochaines années. Le nombre de personnes ayant un revenu compris entre 50 000$ et 150 000 $ devrait augmenter de manière significative d'ici 2050.

**Figure 4 : Distributions des revenus en équivalent adulte (BAU – Zones d'habitation rurales)**




Source : EDM et calculs effectués par les auteurs.

Lorsque nous décomposons la population québécoise en considérant la taille et le type de zone d'habitation[20], nous observons des résultats similaires pour les zones urbaines

[19] De manière standard, la distribution des revenu présente en ordonné la fréquence/nombre de ménage et en abscisse les revenus des ménages.

(Figure 9) et pour les personnes dont le revenu annuel exprimé en équivalent adulte n'excède pas 40 000$ dans les zones rurales (
Figure 4). Pour les personnes ayant un revenu supérieur à 40 000$ et vivant dans les zones d'habitation rurales, la distribution devient bimodale au fil du temps avec une contraction de la distribution des revenus de la classe moyenne entre 2029 et 2050.

Le Tableau 16 nous permet de confirmer qu'à l'échelle de la province, la pauvreté dans ses trois dimensions, incidence ($FGT_0$), profondeur ($FGT_1$) et sévérité ($FGT_2$), connaitrait une baisse entre 2009 et 2050. Notons toutefois, ce résultat n'est vrai qu'autour du seuil de pauvreté utilisé (15 000$ en équivalent adulte/an). En effet comme le montre la Figure 10, la tendance s'inverse avec une augmentation de la pauvreté très marquée entre 2009 et 2029 et plus faible ensuite[21]. Concernant l'inégalité, comme nous l'avions anticipé, le Québec connaitrait une hausse des inégalités sur la période 2009-2050, passant de 0,307 à 0,369 soit une augmentation de 20,08%.

**Tableau 16 : Pauvreté et Inégalité – Variation du BAU (%) - Québec et zones d'habitation**

| | Variation en % | FGT0 | FGT1 | FGT2 | Gini |
|---|---|---|---|---|---|
| Québec | 2009-2029 | -8,62* | -17,89* | -19,97* | +10,92* |
| | 2029-2050 | -6,51* | -12,71* | -13,78* | +8,25* |
| | 2009-2050 | -14,57* | -28,33* | -31,00* | +20,08* |
| 100 000 habitants et + | 2009-2029 | -9,09* | -17,30* | -20,16* | +11,50* |
| | 2029-2050 | -8,38* | -13,47* | -14,63* | +9,18* |
| | 2009-2050 | -16,71* | -28,44* | -31,84* | +21,73* |
| - de 100 000 habitants | 2009-2029 | -11,14 | -26,15* | -27,96* | +8,87* |
| | 2029-2050 | -1,99 | -12,12* | -12,75* | +5,00* |
| | 2009-2050 | -12,91 | -35,10* | -37,15* | +14,32* |
| Rural | 2009-2029 | +14,59 | +7,50 | +4,89 | +9,53* |
| | 2029-2050 | -3,43 | -7,62 | -9,41 | +3,89* |
| | 2009-2050 | +10,65 | -0,69 | -4,98 | +13,80* |

Source : EDM et calculs effectués par les auteurs. * Significatif à 5%.

Quand nous répliquons cette analyse en considérant les zones d'habitation, nous obtenons des résultats similaires et significatifs pour les zones urbaines de grande taille (Tableau 16). Alors que dans les centres urbains de moins de 100 000 habitants la diminution de l'incidence de la pauvreté se révèle non significative, la profondeur et la sévérité de la pauvreté baissent plus que dans les grandes villes tout en ayant une augmentation des inégalités plus faible (+14,32% entre 2009 et 2050 contre +21,73%). Finalement, seule l'augmentation de l'inégalité plus faible que pour les

[20] Étant donné l'information disponible dans l'enquête des dépenses des ménages (EDM), nous avons décomposé le Québec en fonction de la taille des zones d'habitation ainsi que de leur localisation géographique partant de l'idée que les effets des changements climatiques et des mesures d'ajustement pourraient ne pas affecter de la même manière les ménages de centres urbains des autres.
[21] Ce résultat est également observé pour les courbes $FGT_1$ et $FGT_2$.

autres zones d'habitation est significative. Autrement dit, les régions rurales moins pauvres initialement, l'incidence étant égale à 3,93% contre 10,37% pour les zones de plus de 100 000 habitants et 11,91% pour celle de moins de 100 000 habitants, ne connaitraient pas de changement en termes de pauvreté entre 2009 et 2050.

Ainsi, dans la situation du *business as usual* (BAU), le Québec devrait connaitre une baisse de pauvreté accompagnée d'une hausse plus ou moins marquée de l'inégalité. A présent, regardons comment les changements climatiques et les mesures d'ajustement vont modifier ces effets.

## 5.2 Impacts des changements climatiques et mesures d'adaptation sur la distribution de revenu, à travers le temps

Les trois premières simulations étudiées concernent respectivement un choc associé à une augmentation de la productivité forestière de 3% (Sim 1)[22] et à une baisse de cette productivité de 3% (Sim 3) et 6% (Sim 4)[23]. Les deux simulations suivantes proposent des mesures d'adaptation associées à une diminution de la productivité de 3% : la première vise à construire des routes, investissement (Sim 9a) et la seconde est une mesure de soutien au secteur forestier (Sim 10). Ces deux mesures sont supposées financées par une hausse de la TVQ. Les simulations analysées pour l'analyse distributive sont synthétisées dans le tableau qui suit :

**Tableau 17 : Synthèse des simulations traitées dans l'analyse distributive[24]**

| Code | Synthèse des simulations |
|---|---|
| Sim 1 | Augmentation de la productivité forestière de 3% |
| Sim 3 | Diminution de la productivité forestière de 3% |
| Sim 4 | Diminution de la productivité forestière de 6% |
| Sim 9a | Adaptation par la construction de routes financée par la TVQ + Sim 3 |
| Sim 10 | Adaptation par le soutien à la foresterie + Sim 3 |

Nous avons commencé par regarder l'effet de ces chocs de productivité et mesures d'adaptation sur les déciles pour 2029 et 2050 (Figure 5 a et b). Le constat global est que les effets sont faibles pour l'ensemble des déciles et tout particulièrement et pour les cinq premiers[25]. Ceci nous permet d'anticiper une baisse des inégalités lorsque les revenus moyens diminuent et une hausse lorsque les simulations induisent une augmentation des revenus moyens. Pour les deux années étudiées, les chocs de productivités ont les effets escomptés à savoir une hausse des revenus moyens lorsque

[22] Rappelons que le la productivité augmente graduellement sur la période 2009-2050 pour atteindre 3% à la fin du cycle d'étude.

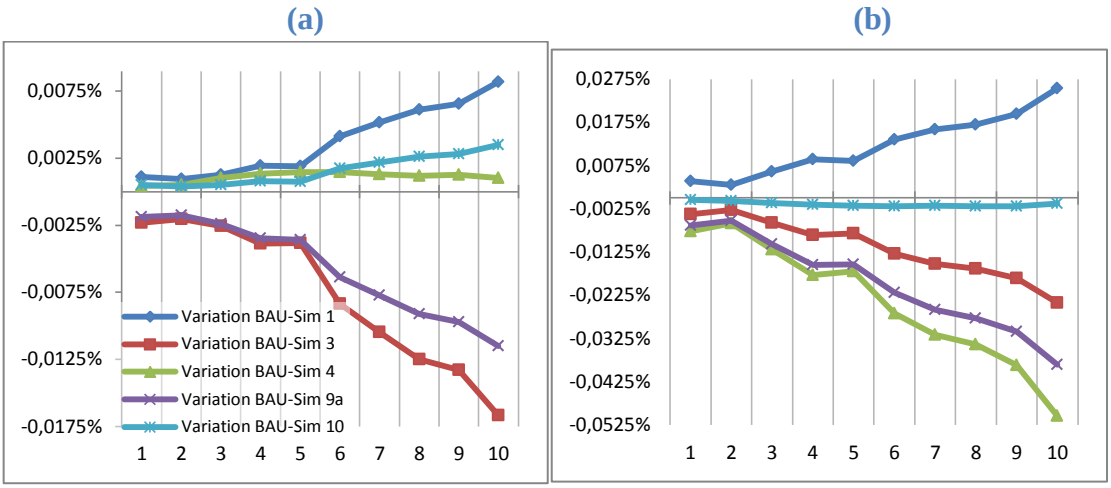
[23] Les résultats obtenus avec simulation 3 (effet d'une diminution de la productivité de 3%) sont présentés à titre illustratif mais nous n'interprèterons que ceux obtenus avec la simulation 4. Le sens des effets est le même seule l'ampleur change (plus faibles que ceux obtenus avec la simulation 4).

[24] Nous n'avons pas retenu les mêmes simulations pour pour l'analyse macro et sectoriel car pour certaines, elles présentaient peu d'éléments intéressants pour l'analyse distributive.

[25] Les variations calculées sont les écarts obtenus entre la situation du BAU avec la situation après simulation pour la même année. Ces effets s'ajoutent donc à ceux obtenus dans la section précédente (étude du BAU).

le choc est favorable (Sim 1) et une diminution suite à un choc négatif (Sim 3 et 4). Plus la baisse de productivité est importante et plus la baisse des revenus moyens est forte. Les chocs de productivités étant graduels, les variations de revenus s'amplifient au cours du temps.

**Figure 5 : Impacts sur les revenus moyens par déciles en 2029 (a) et 2050 (b)- % pour le Québec**



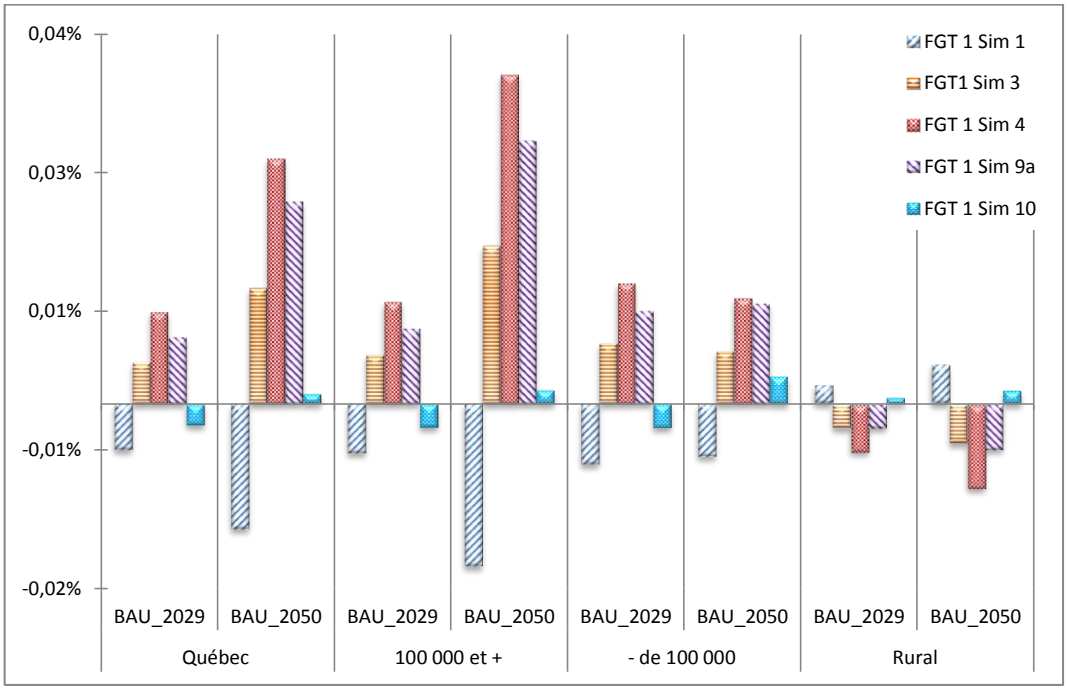

Source : EDM et calculs effectués par les auteurs.

Il est intéressant de constater que les mesures d'adaptation proposées pour compenser la baisse de productivité de 3% n'ont pas les mêmes effets. Le programme d'investissement en infrastructures visant à soutenir les secteurs « foresterie » et « soutien à la foresterie » (Sim 9a) induit une baisse des revenus moyens pour tous les déciles. En 2029, les baisses de revenu pour les cinq premiers déciles sont très proches de celles obtenues avec un choc de productivités deux fois plus important (Sim 4) et semblent s'en éloigner faiblement en 2050. Pour les déciles supérieurs, nous observons l'inverse à savoir un rapprochement de la variation observée avec la simulation 3 lorsque le choc de productivité négatif atteint 3%. Ainsi, il ressort que l'investissement en infrastructures routières visant à faciliter le transport du bois et désenclaver le secteur forestier, ne joue pas le rôle compensateur attendu. La hausse des prix dans l'ensemble des secteurs de l'économie justifie ce résultat. Ceci vient directement gruger le revenu disponible des ménages, les ménages plus aisés consommant plus voient leur revenu moyen diminuer plus que les ménages dans le bas de la distribution.

La seconde mesure d'adaptation semble mieux jouer son rôle face à une baisse de productivité de 3% du secteur forestier. En 2029, la subvention offerte au secteur « foresterie » engendre une augmentation des revenus moyens de tous les déciles, hausse qui ici encore est plus forte pour les déciles supérieurs. En 2050, le choc de productivité a atteint 3% et les revenus moyens obtenus sont sensiblement les mêmes que ceux obtenu dans la situation du BAU (diminutions inférieures à 0,0019% pour l'ensemble des déciles). Il apparait donc que malgré le même mode de financement de

la subvention, cette mesure joue pleinement son rôle compensateur contrairement à une politique visant à développer les infrastructures routières.

**Figure 6 : Impacts sur la profondeur de la pauvreté (Québec et Zones d'habitation)**[26]




Source : EDM et calculs effectués par les auteurs.

L'analyse des impacts sur la pauvreté et les inégalités est présentée dans les Figure 6 à Figure 8 et dans le Tableau 26 en annexe. Le premier constat est que la pauvreté lorsque mesurée par l'incidence (FGT0) reste inchangée tant pour le Québec que pour les trois zones d'habitation[27]. Les effets sur les autres indices de pauvreté et d'inégalité restent faibles mais la plupart du temps significatifs à l'exception des zones d'habitation de moins de 100 000 habitants et rurales. Comme nous nous y attendions, une hausse de la productivité du secteur forestier (Sim 1) va améliorer la profondeur et la sévérité de la pauvreté au Québec. Ainsi nous observons une baisse

[26] Pour alléger la présentation, dans les graphiques et tableaux qui suivent, nous omettons le terme habitants pour désigner les zones d'habitation. Ainsi, nous utilisons 100000 et + pour les villes de 100000 habitants et plus, et – de 100000 pour les communautés de moins de 100000 habitants.

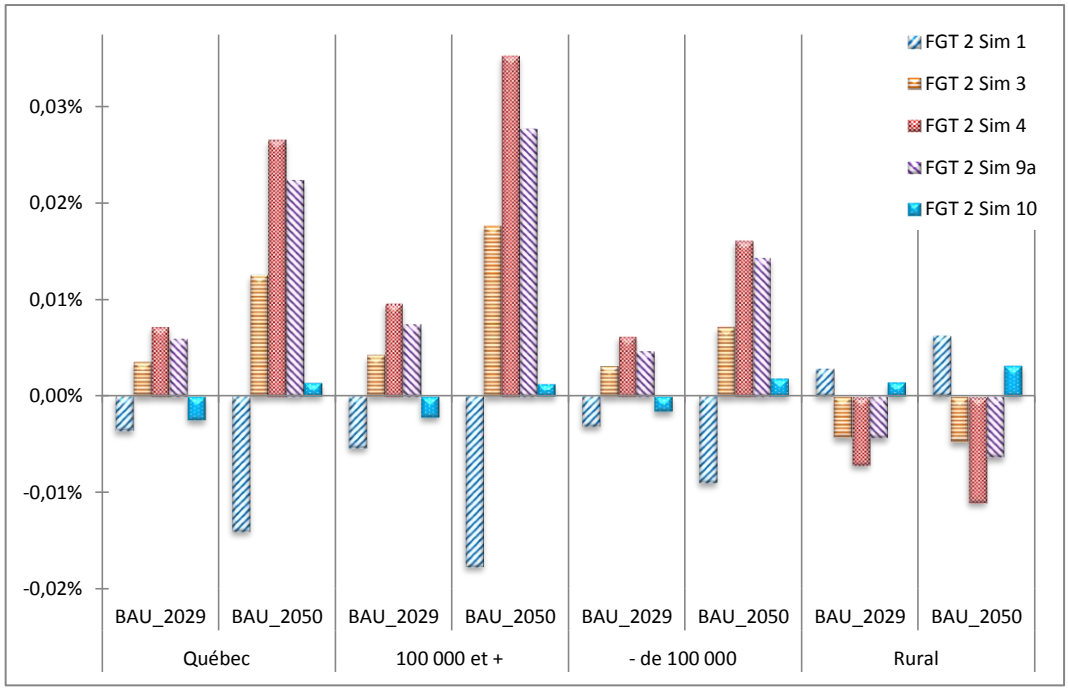
[27] Il est important de préciser que dans l'analyse de la tendance temporelle de la pauvreté, nous avions des diminutions de pauvreté (FGT0, 1 et 2). Le résultat que nous obtenons ici est que quelques soit la simulation, la diminution de l'incidence reste inchangées.

supplémentaire de la profondeur de la pauvreté de 0,005% en 2029 et de 0,014% en

2050, par rapport à ce que serait FGT1 sans la hausse de productivité (

Figure 6). L'ampleur des effets sont similaires pour la sévérité de la pauvreté (Figure 7). Les zones d'habitation de plus de 100 000 habitants semblent profiter plus sur l'ensemble de la période de ce choc positif que les habitants de villes plus petites alors que la situation reste inchangée pour les personnes vivant en milieu rural.
A l'inverse, une baisse de productivité du secteur forestier (Simulations 3 et 4) engendrera une hausse de la profondeur et de la sévérité de la pauvreté plus fortement subie dans les zones grandes zones urbaines surtout à la fin de la période. Plus le choc de productivité est fort et plus l'impact sur l'indice de pauvreté est élevé. Ainsi en 2050, la profondeur de la pauvreté sera supérieure de 0,036% à ce qu'elle aurait été dans la situation du BAU avec un choc de 6% et de 0,017% avec un choc de 3%. Les effets négatifs sont plus faibles mais toujours significatifs pour la province oscillants entre 0,005% et 0,027% pour l'ensemble de la période. Ici encore, les impacts pour la zone rurale sont non significatifs.

**Figure 7 : Impacts sur la sévérité de la pauvreté (Québec et Zones d'habitation)**

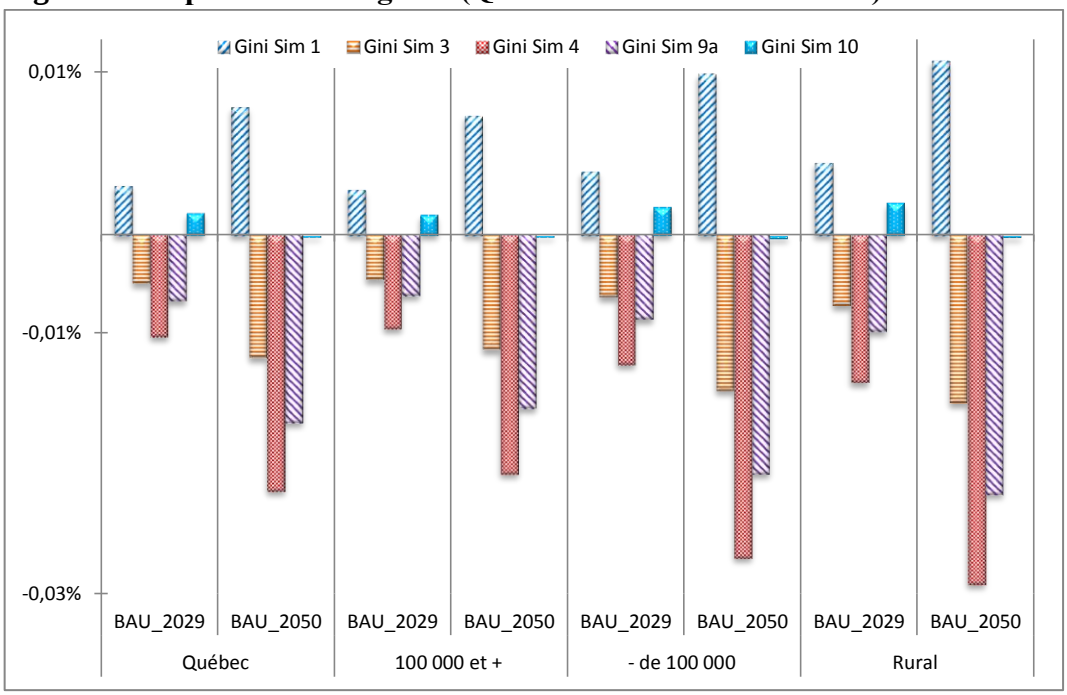



Source : EDM et calculs effectués par les auteurs.

Il est intéressant de constater que lorsque le gouvernement propose de compenser une baisse de productivité de 3% en investissant dans le système routier (Sim 9a), l'effet négatif du choc est amplifié, se rapprochant des résultats obtenus avec un choc de productivité deux fois plus fort (Sim 4). Une hausse des coûts de production et les effets prix induits expliquent ce résultat. Ces hausses de prix touchent tous les secteurs et tout le monde y compris les personnes au bas de la distribution conformément à ce que nous avons observé dans l'analyse des déciles (Figure 5).

Seuls les individus vivant dans les zones rurales sont épargnés. La seconde mesure d'adaptation simulée (soutien au secteur forestier – Sim 10) semble jouer son rôle compensateur en ramenant la profondeur et la sévérité de la pauvreté à ce qu'elles seraient en l'absence de choc de productivité négatif de 3%. La subvention au secteur forestier génère des baisses de cout de production et de prix qui permet d'expliquer cet effet compensateur sur les deux indices de pauvreté.
Les impacts des chocs de productivité et les mesures d'ajustement sur les inégalités sont ici encore faibles tant pour le Québec que pour les trois zones d'intérêt. Comme nous nous y attendions, la hausse marquée des revenus moyens des hauts déciles (Figure 5) suite au choc de productivité positif (Sim 1) explique l'accroissement significatif des inégalités par rapport à la situation du BAU pour l'ensemble des groupes y compris la zone rurale. Cette hausse des inégalités double au cours de la période.

**Figure 8 : Impacts sur l'inégalité (Québec et Zones d'habitation)**




Source : EDM et calculs effectués par les auteurs.

L'inverse est observé lorsque le choc de productivité est négatif confirmant la contraction des revenus moyens plus importante pour les revenus du haut de la distribution (Sim 3 et 4). Des résultats semblables sont obtenus avec la simulation 9a (investissement dans le secteur routier pour compenser la baisse de productivité). Seule la mesure d'adaptation passant par la subvention au secteur forestier (Sim 10) laisse à long terme les inégalités inchangées par rapport à la situation du BAU. Cette politique joue donc ici encore le rôle compensateur escompté.

En conclusion, même si les impacts en termes de bien être sont faibles, ils sont significatifs à l'exception des effets dans les zones d'habitation rurale. Aucun choc

n'a d'effet sur l'incidence de la pauvreté par rapport à la situation du BAU. Les effets sur la distribution des revenus ne sont observés que pour la profondeur et la sévérité de la pauvreté ainsi que l'indice de Gini pour les inégalités. Les chocs de productivités négatifs (positifs) augmentent (diminuent) la pauvreté et réduisent (augmentent) les inégalités par rapport à la situation du BAU. Seul le soutien au secteur de la foresterie comme mesure d'adaptation à un choc de productivité négatif (Sim 10) joue le rôle escompté. L'investissement du système routier semble a contrario une mesure aggravante. Nous constatons également que tous ces effets sont généralement amplifiés au cours du temps.

## 6. Conclusion

Notre programme de recherche comporte deux principaux objectifs. Le premier est l'analyse l'impact économique et distributif du changement climatique sur l'industrie forestière au Québec. Dans ce contexte, nous avons analysé trois principaux chocs exogènes pour l'industrie forestière du Québec, soit des chocs de productivités forestières, des chocs de prix mondiaux des produits forestiers et des chocs sur la demande mondiale des produits forestiers. Le second objectif consiste à étudier les effets de deux programmes d'adaptation aux changements climatiques qui pourraient être mis en œuvre par les décideurs publics à savoir un programme d'investissement en infrastructures routières forestières et un programme de soutien à l'industrie forestière pour améliorer la productivité forestière. Pour les deux objectifs, l'analyse d'impact a été réalisée sur les variables macroéconomiques et sectorielles de l'économie québécoise ainsi que sur les changements des indices de pauvreté. Pour réaliser ces objectifs, nous avons construit un cadre de modélisation macro-micro économique.

Dans un premier temps une matrice de comptabilité sociale (MCS) pour le Québec a été construite, nous avons ensuite désagrégé cette MCS pour détailler l'industrie forestière. Nous avons par la suite construit un modèle d'équilibre général (EGC) statique avec les spécificités de l'industrie forestière. L'étape suivante a été de convertir le modèle EGC statique en modèle EGC avec dynamique récursive. Ceci nous permet de mettre en œuvre les simulations sur une période de 40 ans. Pour compléter le cadre d'analyse macro-micro, nous avons construit notre base de données micro pour le modèle de micro-simulation et passer à la construction du modèle micro-simulation (MS) dynamique. Une fois le cadre d'analyse complété, nous avons travaillé à la conception des scénarios en collaboration avec les membres d'Ouranos et notre comité aviseur. Une fois que les scénarios ont été finalisé, nous avons procédé à les mettre en œuvre dans notre cadre de modélisation. Avec les résultats produits par notre cadre d'analyse macro/micro-simulation, nous pouvions passer à l'étape suivante qui consistait, à réaliser l'analyse distributive avec l'aide des indices de pauvreté Forster, Greer et Thorbecke (1994) et l'indice de Gini. Par la suite, nous avons pu effectuer l'analyse de l'ensemble de nos résultats.

La principale constatation de nos résultats est que l'impact des changements climatiques sur la forêt du Québec a des effets relativement faibles sur l'économie québécoise au niveau des variables macroéconomiques. L'impact sur le PIB n'est jamais plus fort que 0,1% au terme de la résolution de 40 ans, soit d'environ 300 millions de dollars. Les effets sur le revenu des agents ne sont jamais supérieurs cas 0,15% mais la plupart du temps, ils sont inférieurs à 0,1%. Toutefois, les branches de l'industrie forestière peuvent être affectées de manière assez importante. Ceci est normal du fait que le choc négatif ou positif est appliqué directement sur la branche forestière. Pour la simulation dans laquelle nous appliquons une baisse de productivité de 6% sur la foresterie, nous observons une baisse de production de l'ordre de 2% des branches fortement liées à la foresterie (*produit du bois* et *scieries et préservation du bois*),. Pour les autres branches de l'industrie, les baisses sont entre 0,1 et 0,4%. Ces baisses de production dans ces secteurs sont compensées par des hausses de production dans d'autres branches de l'économie telle que la branche *autres fabrications* qui voit sa production augmenter sensiblement de 0,02%.

Les augmentations de production d'autres secteurs de l'économie permettent d'atténuer les impacts négatifs sur l'ensemble de l'économie car il y a une réallocation des facteurs tels que les travailleurs libérés par les branches de l'industrie forestières vers les autres secteurs. Ce type d'effets ne peut être capté dans un modèle intersectoriel ou d'équilibre partiel car la réallocation des facteurs n'est pas possible. Il est aussi intéressant d'observer des effets qualitativement et quantitativement différents sur les autres branches de l'économie.

Les résultats de nos simulations montrent aussi que les programmes d'adaptation aux changements climatiques peuvent aider à atténuer les effets négatifs observés. Toutefois, ceci dépend fortement de l'efficacité des programmes mis en œuvre. Dans notre analyse, nous avons postulé que les deux programmes généraient des gains de productivité pour la branche de foresterie et la branche de soutien à la foresterie ce qui a contribué à ces résultats positifs. Toutefois, ce ne sont pas tous les secteurs qui profitent d'une atténuation des effets négatifs ou d'une amplification des effets positifs. Par exemple, pour le programme de construction d'infrastructure, la branche *autres fabrication* performe mieux que les branches de la finance et du commerce au détail. Le deuxième programme d'adaptation (soutien à la foresterie) produit des effets positifs au niveau macroéconomique (PIB, Dette et revenu des agents) soit en atténuant les effets négatifs ou en les inversant. Le programme est aussi très favorable pour toutes les branches de l'industrie forestière.

Toutefois, pour le reste de l'économie, nous avons l'effet inverse puisque ce programme est favorable aux branches du *commerce au détail* et de la *finance* et négatif pour la branche *autres fabrications*. Il est donc important d'analyser chaque programme d'adaptation envisagé, surtout si des mesures de compensation des perdants sont prévues car les différents programmes ne produiront pas les mêmes

effets dans l'économie en termes de bénéfices générés et leurs coûts respectifs. Il est important de rappeler que nous avons supposé des gains de productivité qui ne correspondent pas nécessairement à la réalité car ces données ne sont pas disponibles. Toutefois, il existe des méthodologies qui permettent de mesure la relation entre un programme de dépenses publiques et les gains de productivités des secteurs visés par ce programme.

Pour l'analyse distributive, même si les impacts en termes de bien être sont faibles, ils sont significatifs à l'exception des effets dans les zones d'habitation rurale. Aucun choc n'a d'effet sur l'incidence de la pauvreté par rapport à la situation du BAU. Les effets sur la distribution des revenus ne sont observés que pour la profondeur et la sévérité de la pauvreté ainsi que l'indice de Gini pour les inégalités. Les chocs de productivités négatifs (positifs) augmentent (diminuent) la pauvreté et réduisent (augmentent) les inégalités par rapport à la situation du BAU. Seul le soutien au secteur de la foresterie comme programme d'adaptation lié à un choc de productivité négatif (Sim 10) permet d'améliorer les indicateurs de pauvreté et inégalité. L'investissement en construction routière forestière semble a contrario une mesure aggravante en terme distributif.

Dans le cadre de notre projet, nous avons fait certaines constatations importantes et produit des résultats utiles. Au niveau des résultats de notre analyse, nous avons montré qu'il est important de prendre en compte les effets d'équilibre général dans le cadre d'analyse d'impacts des changements climatiques sur l'économie du Québec car des effets relativement forts pour une industrie peuvent être atténués fortement par un déplacement des facteurs de production vers d'autres secteurs de l'économie. Notre cadre d'analyse, nous a aussi permis d'identifier les gagnants et les perdants suite à ces chocs exogènes au programme d'adaptation aux CC. L'identification des gagnants et perdants permet de concevoir et mettre en place des mesures de compensation qui peuvent grandement faciliter la mise en œuvre d'un programme. Finalement, une analyse plus fine utilisant le cadre macro-micro devrait être réalisée pour faire les bons choix de politique d'adaptation car celles-ci n'auront pas les mêmes effets sur les différents agents de l'économie et les différentes branches de production. Il sera aussi important de tenter de mesurer les gains de productivité que pourront générer les différentes politiques d'adaptation qui seront envisagées.

## Bibliographie


Aber, J., Neilson, R. P., McNulty, S., Lenihan, J. M., Bachelet, D. et R.J. Drapek,. (2001). Forest processes and global environmental change: Predicting the effects of individual and multiple stressors. *Bioscience, 51*(9), pp. 735-751.

Annabi N., F. Cisse J. Cockburn. et B. Decaluwé (2005) Trade liberalisation, growth and poverty in Senegal: a dynamic microsimulation CGE model analysis", Université Laval, CIRPEE Working Paper 05-12.

Armington, P.S., (1969), A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production, *I.M.F. Staff Papers* 16(1) pp. 159-178.

Aschauer, D. A. (1989). Is Public Expenditure Productive?, *Journal of Monetary Economics* 23(2), pp. 177–200.

Berrittella, M., A. Bigano, R. Roson et R.S.J. Tol, (2006), A General Equilibrium Analysis of Climate Change impact on Tourism, *Tourism Management*, 27(5), pp. 913-924.

Boccanfuso, D. et L. Savard, (2007) Impacts Analysis of Cotton Subsidies on Poverty: A CGE Macro-Accounting Approach, *Journal of African Economies.* 16(4), pp. 629-659.

Boccanfuso, D., M. Joanis, P. Richard, L. Savard (2014), A comparative analysis of funding schemes for public infrastructure spending in Quebec, *Applied Economics*, Vol 46(22), pp. 2653-2664.

Bosello, F. et J. Zhang, (2005). Assessing climate change impacts: Agriculture, FEEM Working Papers, 94.2005 Fondazione Eni Enrico Mattei, Milan, Italie.

Bosello, F. R. Roson, et R.S.J. Tol (2006), Economy-wide estimates of the implications of Climate change: Human health. *Ecological Economics*, 58(3), pp. 579-581.

Bosello, F. R. Roson, et R.S.J. Tol (2007), Economy-wide Estimates of the Implications of Climate Change: Sea Level Rise, *Environmental and Resource Economics*, 37(3), pp 549-571.

Boulanger, P. et T. Bréchet, (2003). Une analyse comparative des classes de modèles : Modélisation et aide à la décision pour un développement durable *Document to support project PADD I, SSTC.*

Bourguignon F. et A. Spadaro, (2003) "Les modèles de microsimulation dans l'analyse des politiques de redistribution: une brève presentation", *Economie et Prévisions*, 4, pp. 231-238.

Burton, D. M., B.A. McCarl, C.N. de Sousa, D.M. Adams, R. Alig, et S.M. Winnett, (1997). Economic impacts of climate change on southern forests. Department of Agricultural Economics, Texas A & M University.

Ciesla, W. M. (1997). Le changement climatique, les forêts et l'aménagement forestier : Aspects généraux Études no. 126. Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome.

Cockburn, J. (2006), Trade Liberalisation and Poverty in Nepal: A Computable General Equilibrium Micro Simulation Analysis, dans M. Bussolo et J. Round (eds.), Globalization and Poverty: Channels and Policies, Routledge, London

Cury, S., A.M. Coelho, et E. Pedrozo (2010), The Impacts of Income Transfer Programs on Income Distribution and Poverty in Brazil: An Integrated

Microsimulation and Computable General Equilibrium Analysis, MPIA working paper 2010-20, Partnership for Economic Policy, Dakar, Senegal.

Dale, V. H., L.A. Joyce, S. McNulty, R.P. Neilson, M.P. Ayres, M.D. Flannigan, M. D….et B.M. Wotton, (2001). Climate change and forest disturbances : Climate change can affect forests by altering the frequency, intensity, duration, and timing of fire, drought, introduced species, insect and pathogen outbreaks, hurricanes, windstorms, ice storms, or landslides. *Bioscience, 51*(9), pp. 723-734.

Davies, J. B. (2009), Combining Microsimulation with CGE and Macro Modelling for Distributional Analysis in Developing and Transition Countries, *International Journal of Microsimulation*, 2(1) pp. 49-65.

Decaluwé, B., A. Martens et L. Savard (2001), *La politique Économiques du Développement*, Université Francophone-Presse de l'Université de Montréal, Montréal. pp. 1-509.

de Melo, J. et S. Robinson, (1990). Productivity and externalities : models of export led growth, Policy Research Working Paper Series 387, The World Bank.

Dessus, S., et R. Herrera. (1996), Le rôle du Capital Public dans la Croissance des Pays en Développement au cours des Années 80. OECD Working Paper 115. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.

Deville, J.C. et C.E. Sarndal, (1992), Calibration estimators in survey sampling, *Journal of the American Statistical Association*, 87(418), pp. 376-382.

Foster, J., J. Greer, J. et E. Thorbecke, (1984), A class of decomposable poverty measures, *Econometrica*, 52(3), pp. 761–766.

Gauthier, S., M.A. Vaillancourt, A. Leduc, L. De Grandpré, D. Kneeshaw, H. Morin, P. Drapeau, et Y. Bergeron. (2008). *Aménagement écosystémique en forêt boréale*. Les Presses de l'Université du Québec, Québec, 600 pages.

Gauthier, S., P. Bernier, P.J. Burton J. Edwards K. Isaac, N. Isabel, K. Jayen, H. Le Goff, et E.A. Nelson (2014). Climate change vulnerability and adaptation in the managed Canadian boreal forest. Environmental Reviews, 22, pp. 1-30.

Gouvernement du Québec-MRNF (2008). La forêt pour construire le Québec de demain, Québec, 73 pages.

Gouvernement du Québec-Ministère des Ressources naturelles du Québec (MRN). (2013). Les forêts du Québec. En ligne http ://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/quebec/index.jsp

Gouvernement du Québec MRNF, (2012) Ressources et industrie forestières : Portrait statistique édition 2012, Ministère des ressources naturelles et de la faune, Québec

Gramlich, E. (1994). Infrastructure Investment: A Review Essay. *Journal of Economic Literature* 32(3), pp.1176–1196.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat-GIEC (2007), Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse, PNUE et OMM, New York.

Hansen, A.J., R.P. Neilson, V.H. Dale, C.H. Flather, L.R. Iverson, D.J. Currie, S. Shafer, R. Cook, et P.J. Bartlein, (2001), Global Change in Forests: Responses of Species, Communities, and Biomes: Interactions between climate change and land use are projected to cause large shifts in biodiversity, *BioScience*, 51(9), pp. 765-779.

Harchaoui, T. M., et F. Tarkhani. (2003). *Le capital public et sa contribution à la productivité du secteur des entreprises du Canada*. Série de documents de recherche sur l'analyse économique (AE). No 11F0027MIF2003017 au catalogue. Direction des études analytiques. Ottawa : Statistique Canada.

Institut de la Statistique du Québec (2013), Bilan démograhique du Québec, Gouvernement du Québec, Québec.

Johnston, M. H., T.B. Williamson, A.D. Munson, A.E. Ogden, M.T. Moroni, R. Parsons, D. Price, et J.J. Stadt, (2010), Climate change and forest management in Canada: impacts, adaptive capacity and adaptation options. A state of knowledge report. 60 p. Réseau de gestion durable des forêts, Edmonton (Alberta).

Joyce, L. A., J.R. Mills, L.S Heath, A.D. McGuire, R.W. Haynes, et R.A. Birdsey, (1995). Forest sector impacts from changes in forest productivity under climate change. *Journal of Biogeography,* 22(4-5), pp. 703-713.

Lemprière, T. C., P. Bernier, A. Carroll, M. Flannigan, R. Gilsenan, D. McKenney, E.H. Hogg, J.H. Pedlar, et D. Blain, (2008). *The importance of forest sector adaptation to climate change*. Northern Forestry Centre, Edmonton, 78 pages.

Marbek, P.K. et V. Lantz, (2010). *Costing Climate Impacts and Adaptation : A Canadian Study on the Forest Sector*, report commissioned by the National Round Table on the Environment and the Economy. Marbek: Ottawa, Ontario.

McNulty, S. G. et J.D. Aber, (2001). US national climate change assessment on forest ecosystems: An introduction. *Bioscience, 51*(9), pp. 720-722

Ochuodho, T. O., V.A. Lantz, P. Lloyd-Smith, et P. Benitez, (2012). Regional economic impacts of climate change and adaptation in Canadian forests: A CGE modeling analysis. *Forest Policy and Economics*. 25, pp. 100-112.

Ochuodho, T. O., et V.A. Lantz, V. A. (2014). Economic impacts of climate change in the forest sector: A comparison of single-region and multi-regional CGE modeling frameworks. *Canadian Journal of Forest Research*. 44(5), ppé 449-464.

Orcutt, G. (1957). "A New Type of Socio-Economic System" *Review of Economic and Statistics*, 39(2), pp. 116-123.

Ouranos (2010), Savoir s'adapter aux changements climatiques, En ligne www.ouranos.ca/fr/publications/documents/sscc_francais_br-V22Dec2011.pdf.

Pacifico, D. (2010), Reweight: The Stata command for survey reweighting," Center for the Analysis of Public Policies (CAPP) 0079, Universita di Modena e Reggio Emilia, Dipartimento di Economia Politica.

Perez-Garcia, J., L.A. Joyce, C.S. Binkley, et A.D. McGuire, (1997). Economic impacts of climatic change on the global forest sector: An integrated ecological/economic assessment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 27*(S1), pp. 123-138.

Rive, N., H.A. Aaheim, et K. Hauge, (2005) Adaptation and world market effects of climate change on forestry and forestry products. Presented at the Annual GTAP Conference, June 9-11, 2005. Lübeck, Germany.

Roson, R., et D. van der Mensbrugghe (2010), Climate Change and Economic Growth: Impacts and Interactions, Working Paper no 7-2010, Department of Economics, University of Venice, Venise, Italie.

Savard, L. (2003), Poverty and Income Distribution in a CGE-Household Microsimulation Model : Top-Down/Bottom Up Approach. *Cahier de recherché du CIRPÉE*. 2003-43, p.1-33.

Savard, L. (2010), Scaling up Infrastructure Spending in the Philippines : A top-down bottom up micro-simulation approach, *International Journal of Microsimulation.* 3(1), pp. 43-59.

Sohngen, B. et R. Sedjo, (1998), A comparison of timber market models: Static simulation and optimal control approaches. *Forest Science, 44*(1), pp. 24-36.

Sohngen, B., R. Mendelsohn, et R. Sedjo, (2001). A global model of climate change impacts on timber markets. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 26(2), pp. 326-343.

Sohngen, B., et R. Sedjo, (2005), Impacts of climate change on forest product markets: implications for North American producers. *The Forestry Chronicle, 81*(5), pp. 669-674.

Statistique Canada (2009), Enquête sur les dépenses des Ménages (EDM), Statistique Canada, Ottawa.

Statistique Canada (2012), Le système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN), Statistique Canada, En ligne. http://www.statcan.gc.ca/.

Statistics Canada (2014), Statcan Canadian International Merchandise Trade Database (http://www5.statcan.gc.ca/cimt-cicm/), consulted on April 2nd 2014.

Van Kooten, G. et L.M. Arthur, (1989). Assessing economic benefits of climate change on Canada's boreal forest. *Canadian Journal of Forest Research, 19*(4), pp. 463-470.

Weber, M. et M. Flannigan, (1997). Canadian boreal forest ecosystem structure and function in a changing climate: Impact on fire regimes. *Environmental Reviews, 5*(3-4), pp. 145-166.

Williamson, T., S. Colombo, P. Duinker, P. Gray, R. Hennessey, R., D. Houle, M. Johnston, M. A. Ogden, et D. Spittlehouse, (2009), Climate change and Canada's forests : From Impact to Adaptation, Réseau de Gestion Durable des Forêts, Edmonton, Canada, 106 pages.

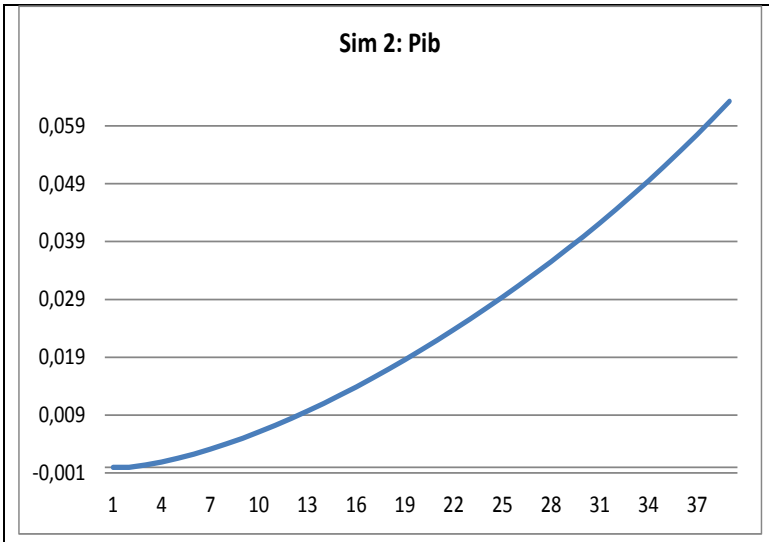
Yamasaki, S.H., M. Hernandez, J. Louvel, et M. Olar, (2012), Première étude en vue de développer une méthodologie pour évaluer les vulnérabilités socio-économiques des communautés forestières du Québec aux changements climatiques, Ouranos, Montréal, 70 pages.

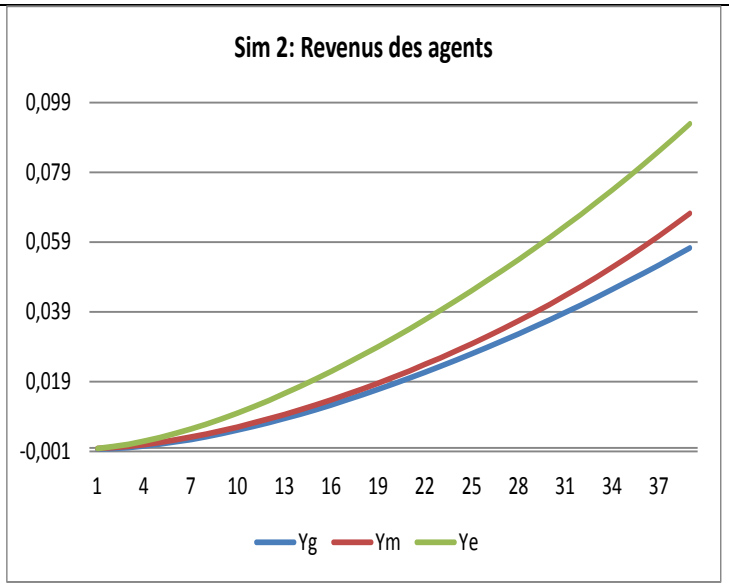
Yeaple S.R. et S.S. Golub (2007). International Productivity Differences, Infrastructure, and Comparative Advantage, *Review of International Economics*, 15(2), pp. 223–242.

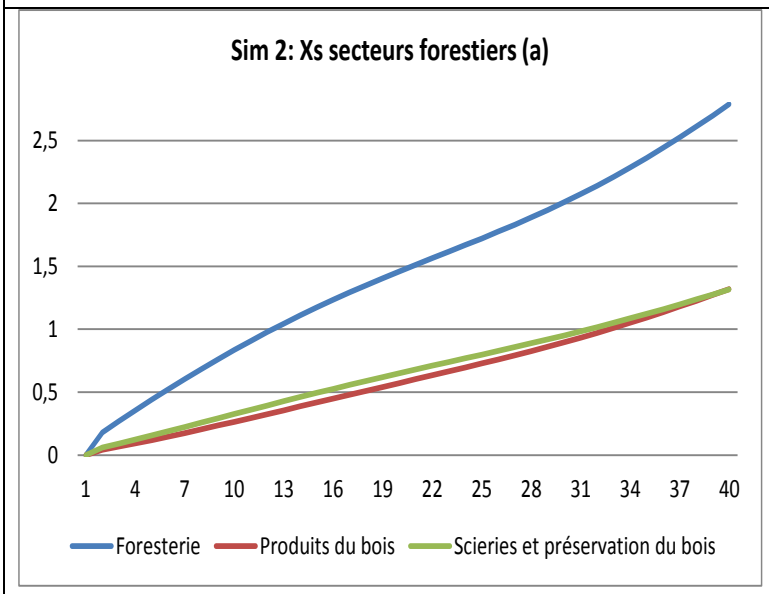
Zhai, F., T. Lin, et E. Byambadorj, (2009). A general equilibrium analysis of the impact of climate change on agriculture in the People's Republic of China, *Asian Development Review*, 26(1), pp. 206-225.

# Annexes

## Tableau 18 : Simulation 2, variables macroéconomiques et la production



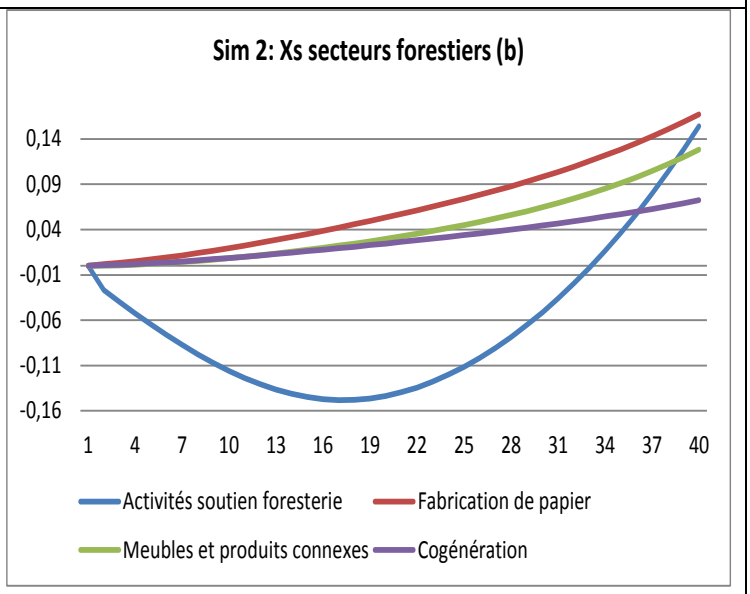
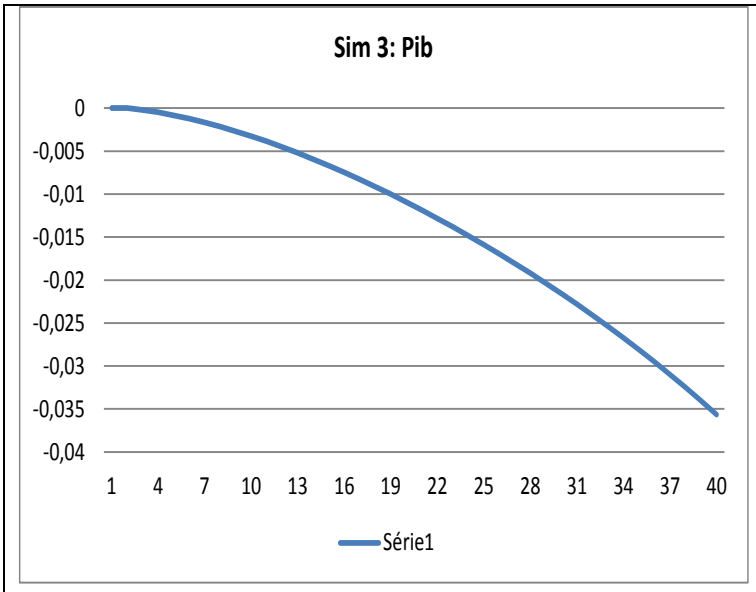
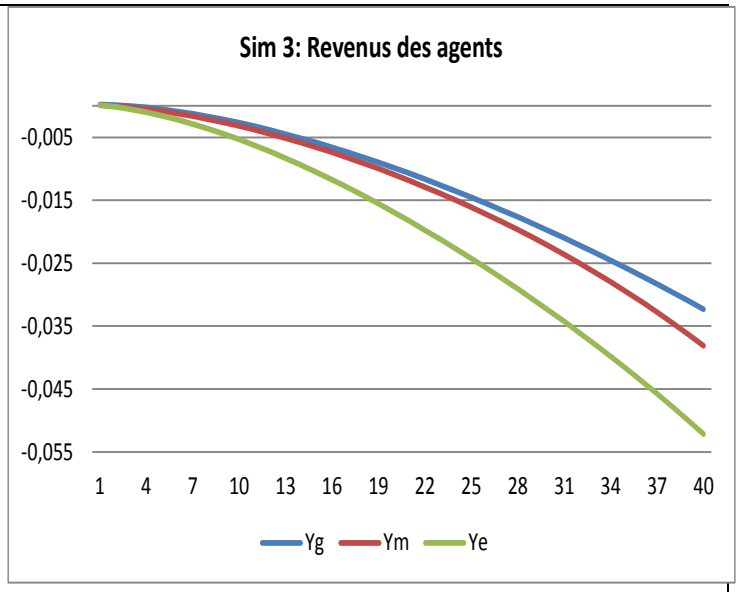
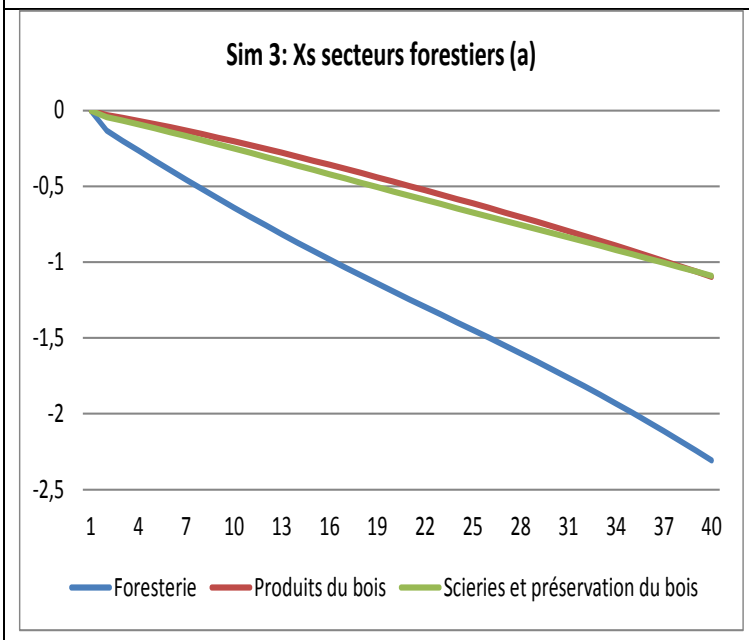



**Tableau 19 : Simulation 3 variables macroéconomiques et la production**



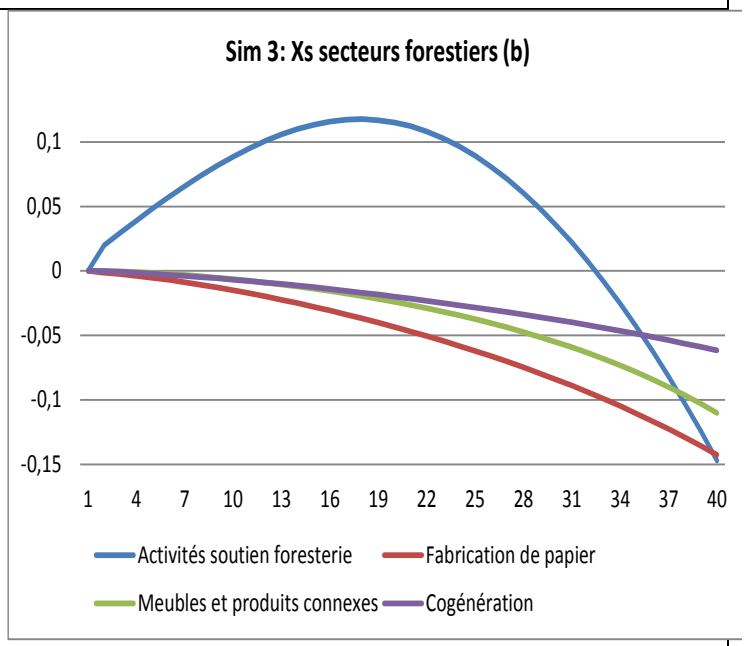
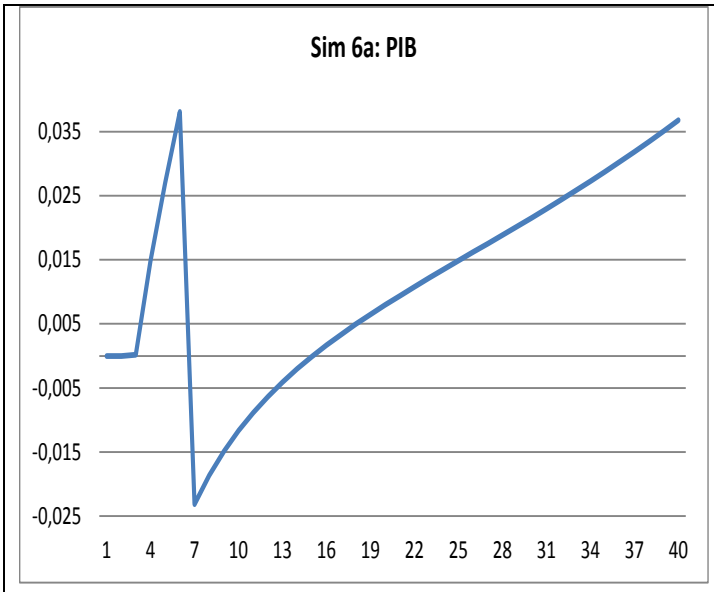
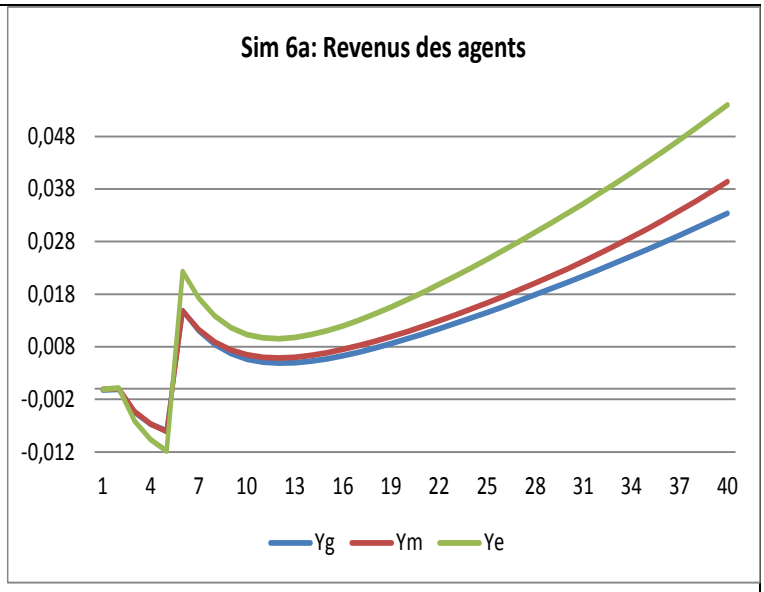
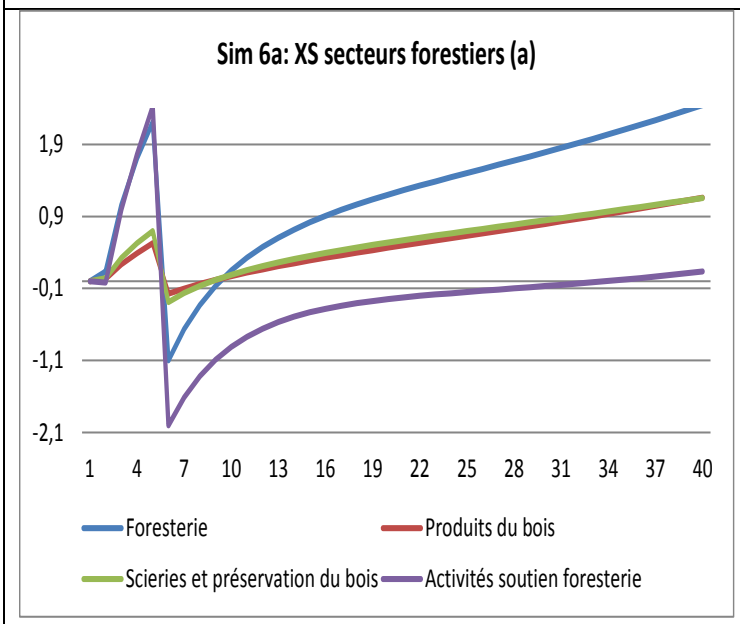



**Tableau 20 : Simulation 6a : variables macroéconomiques et la production**



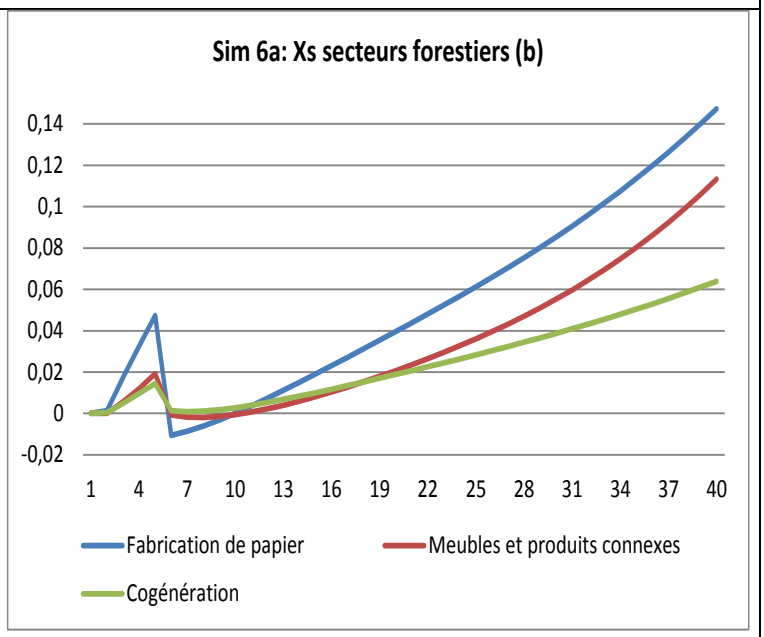
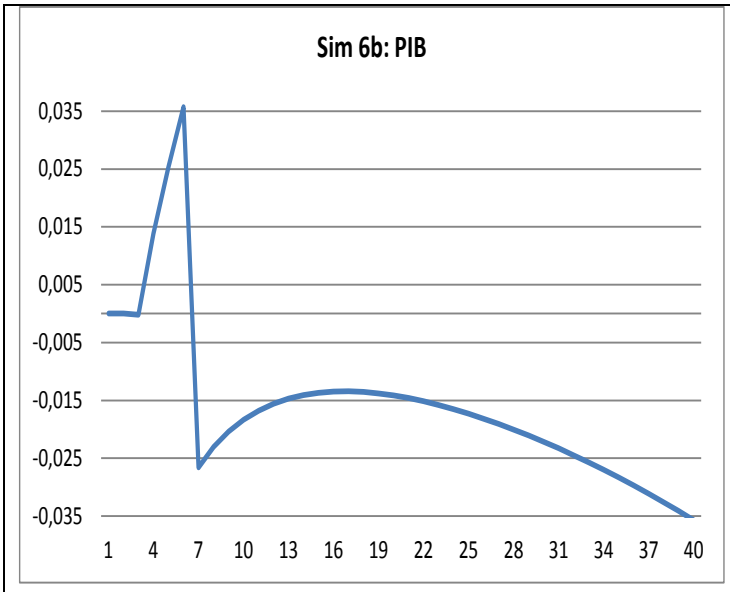
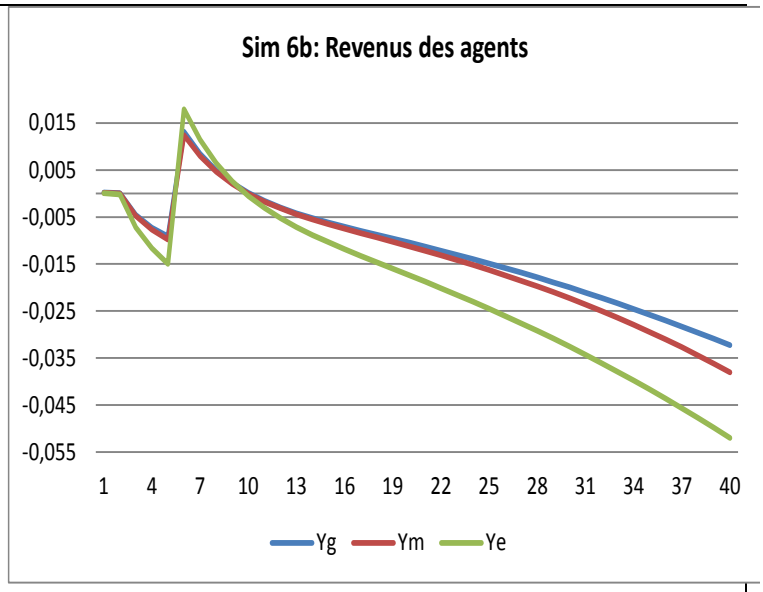
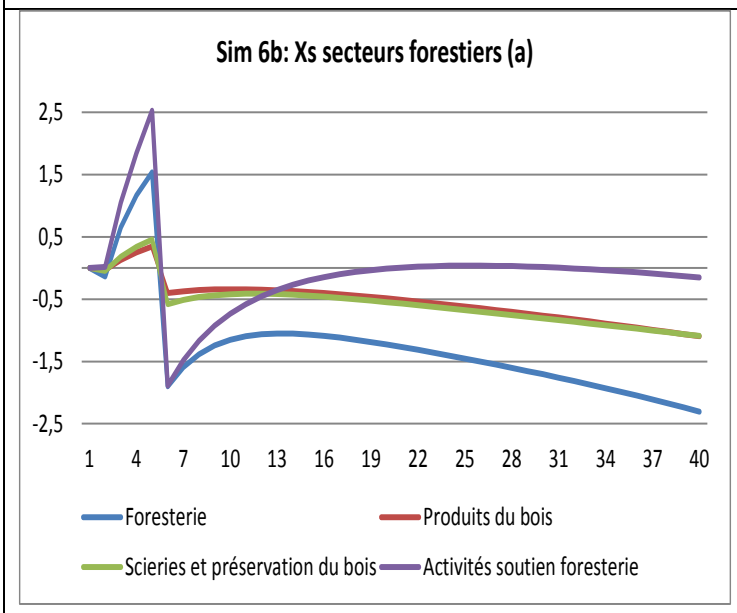



**Tableau 21 : Simulation 6b : variables macros et la production**



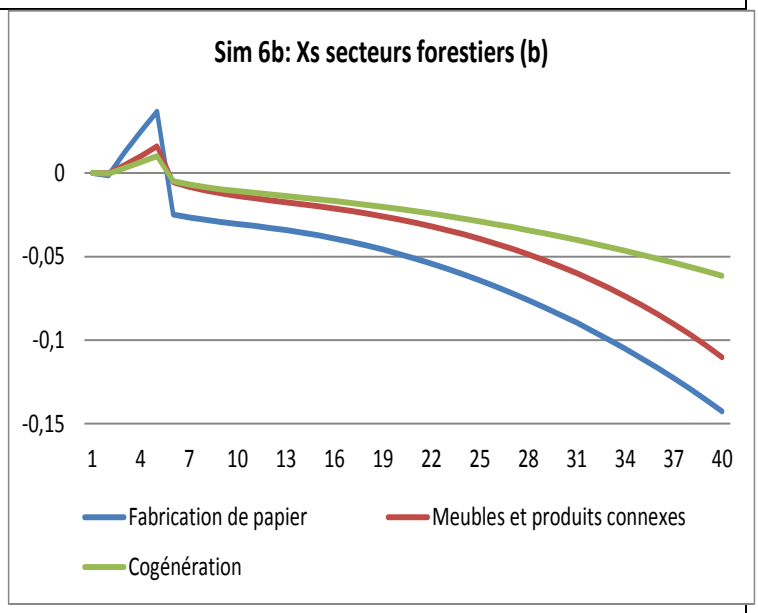
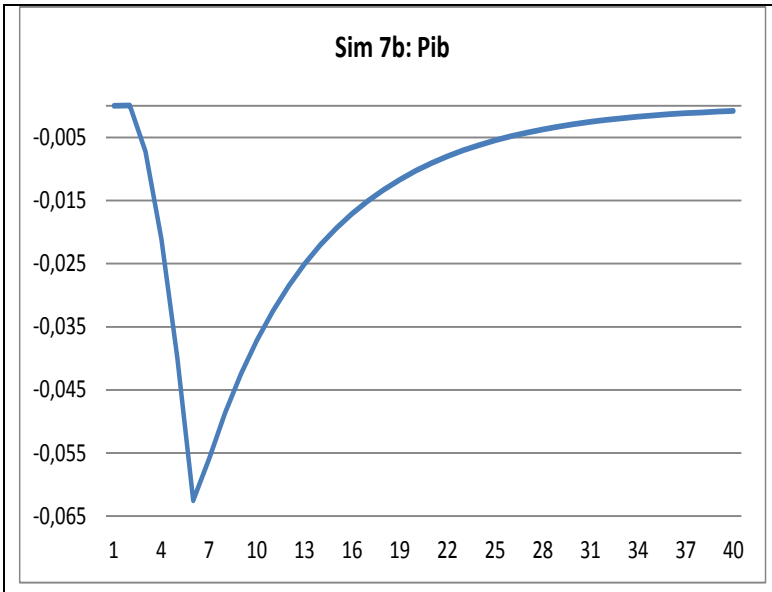
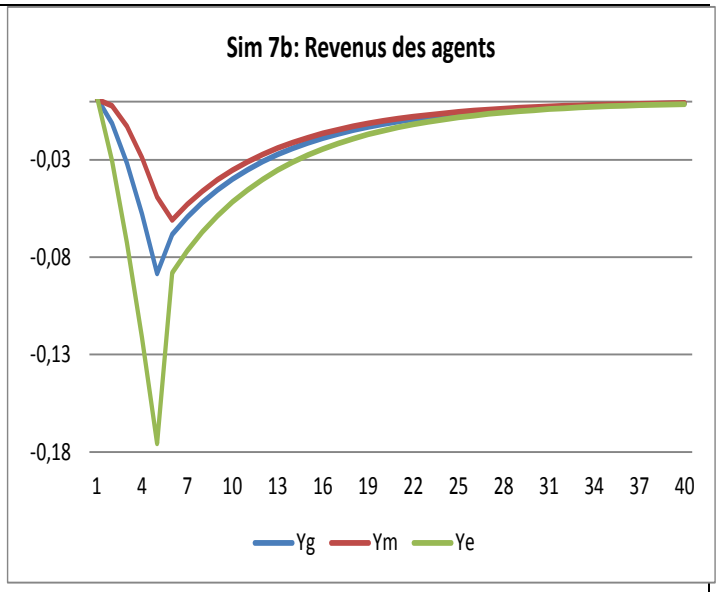
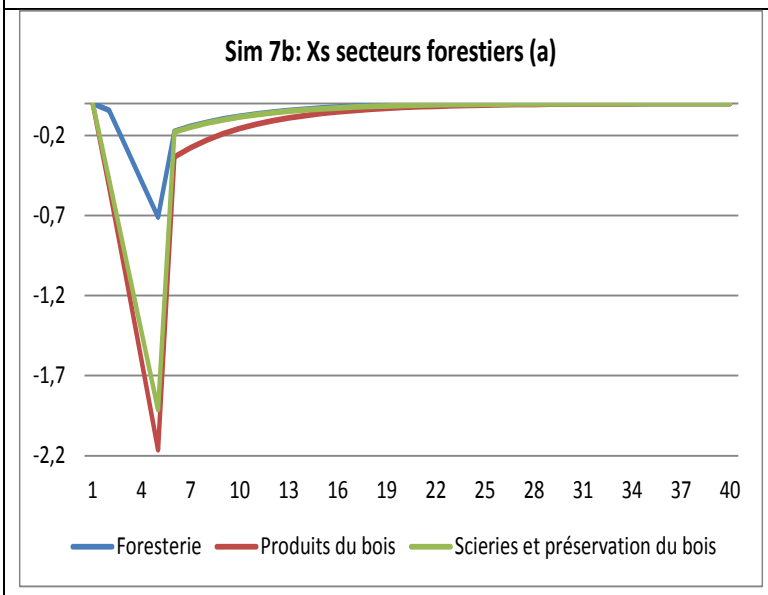



**Tableau 22 : Simulation 7b, variables macroéconomiques et production**



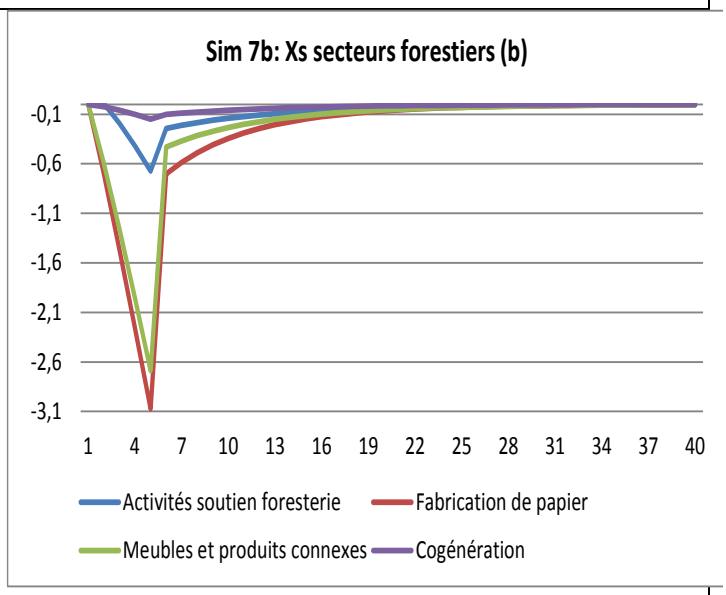
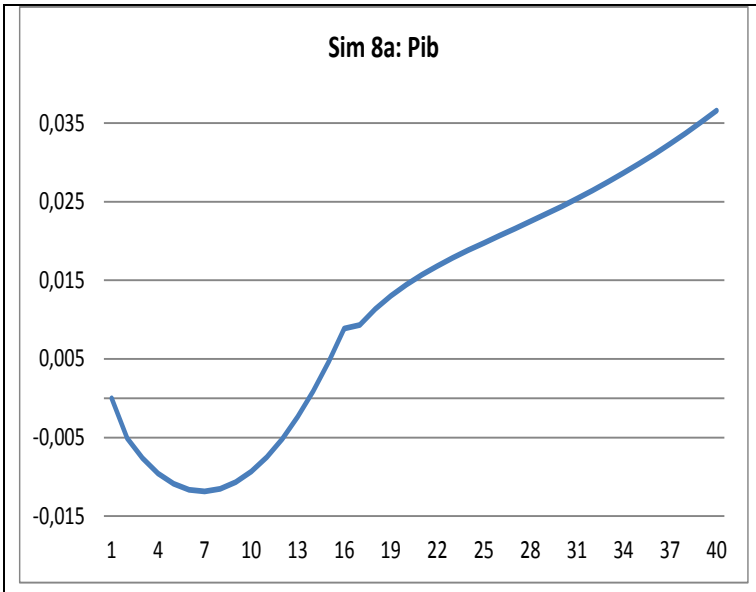
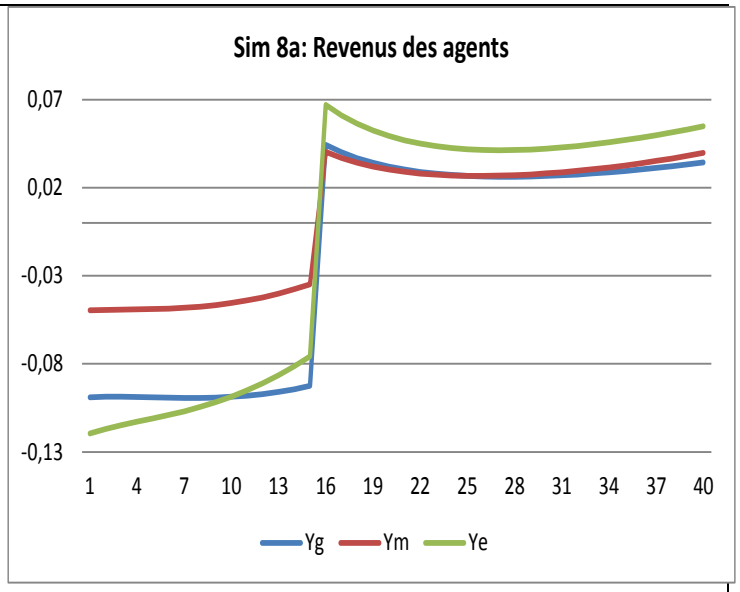
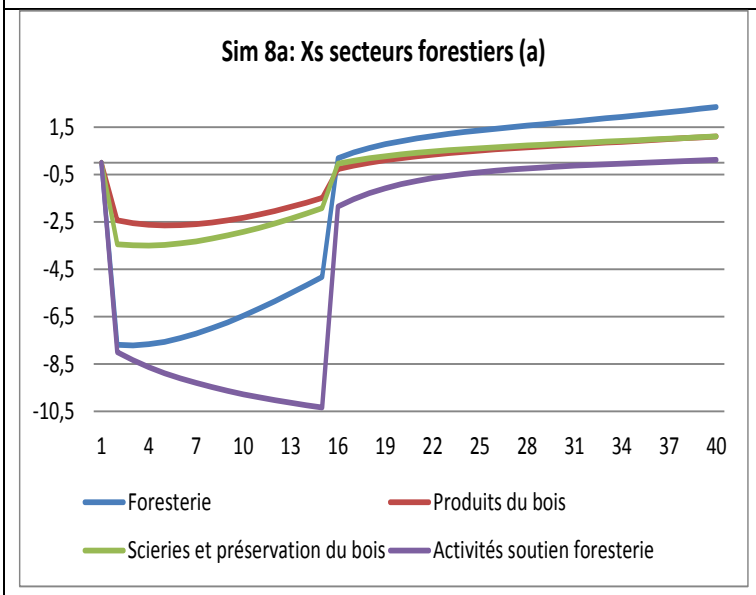



**Tableau 23 : Simulation 8a, variables macroéconomiques et production**



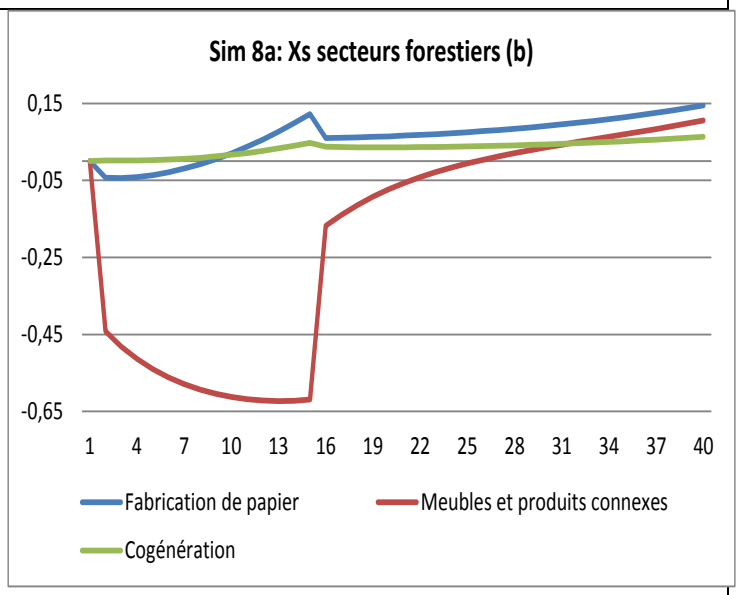
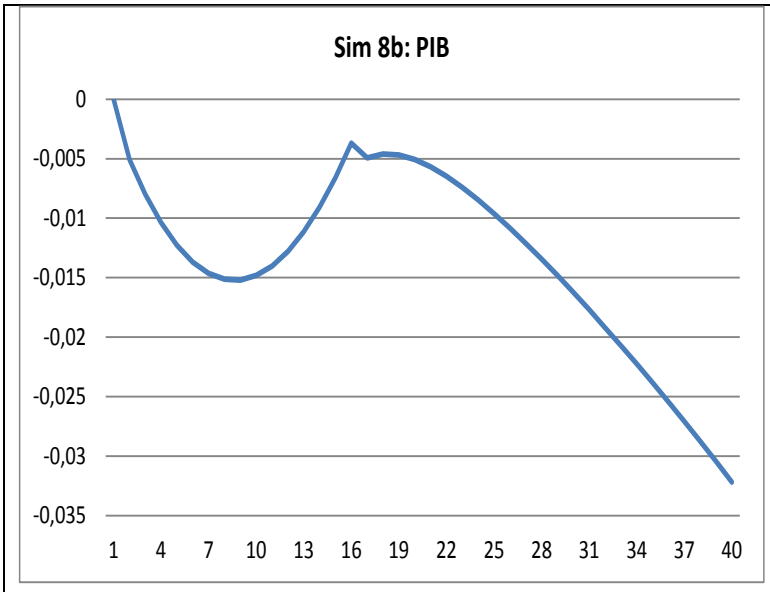
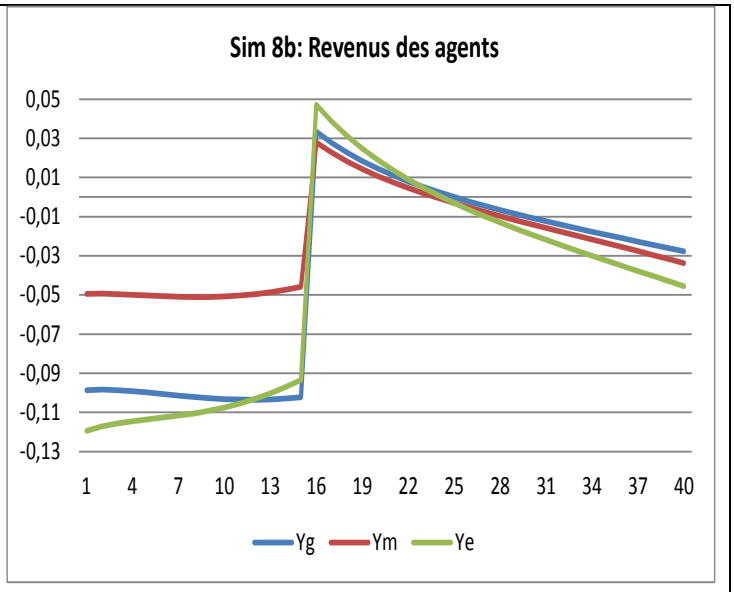
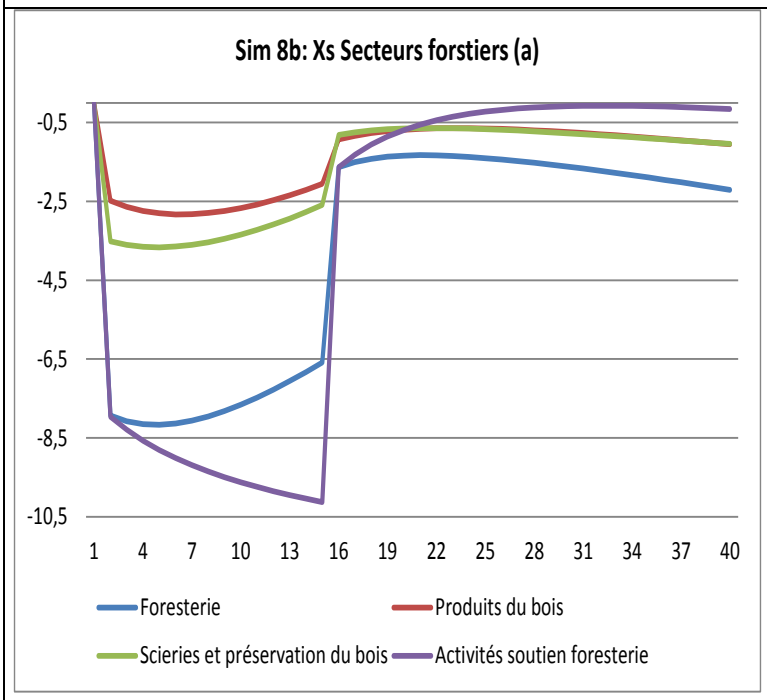



**Tableau 24 : Simulation 8b, variables macroéconomiques et production**



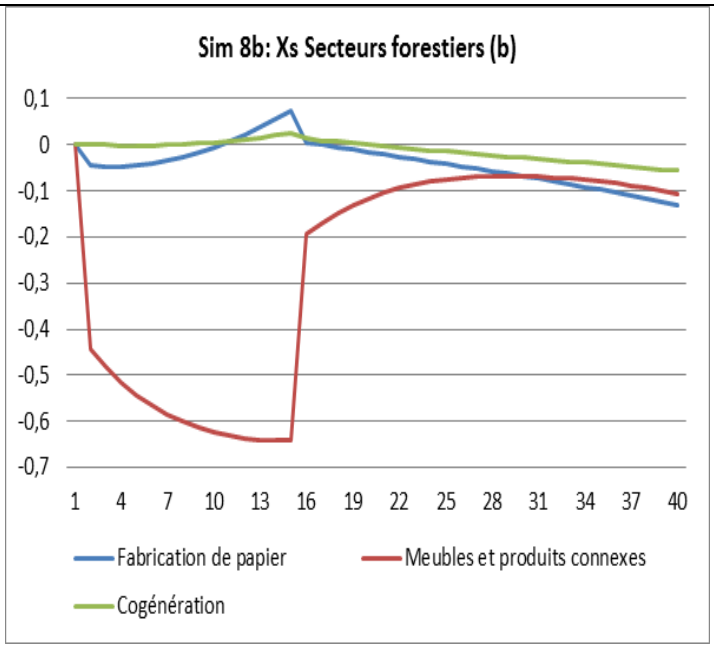
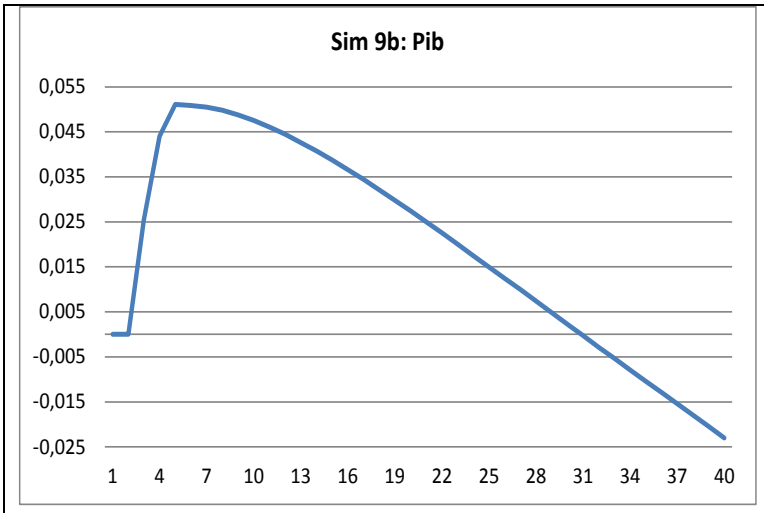
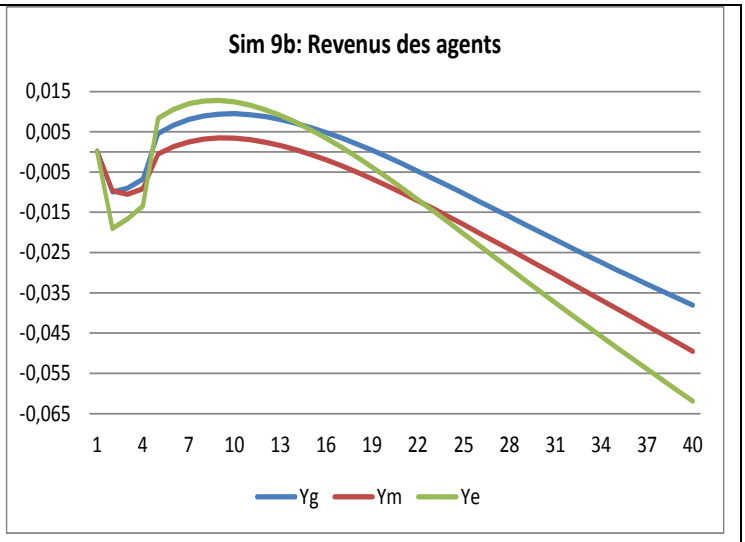
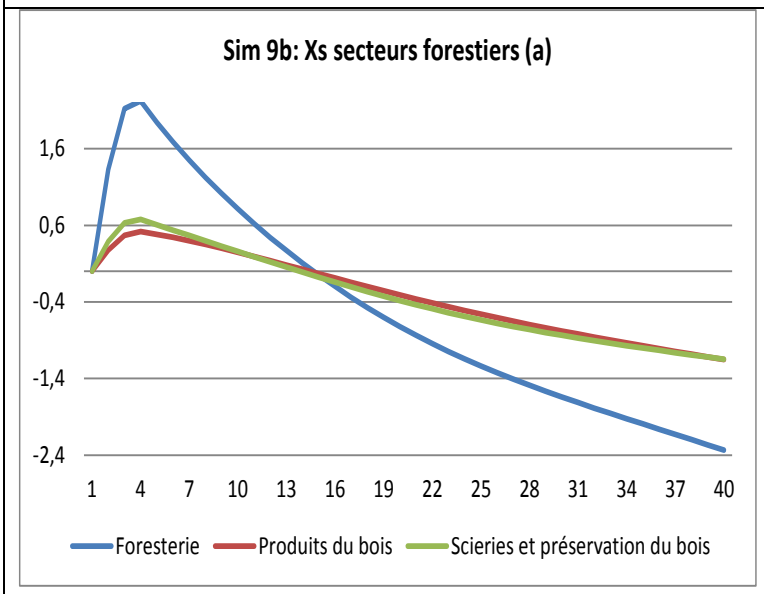
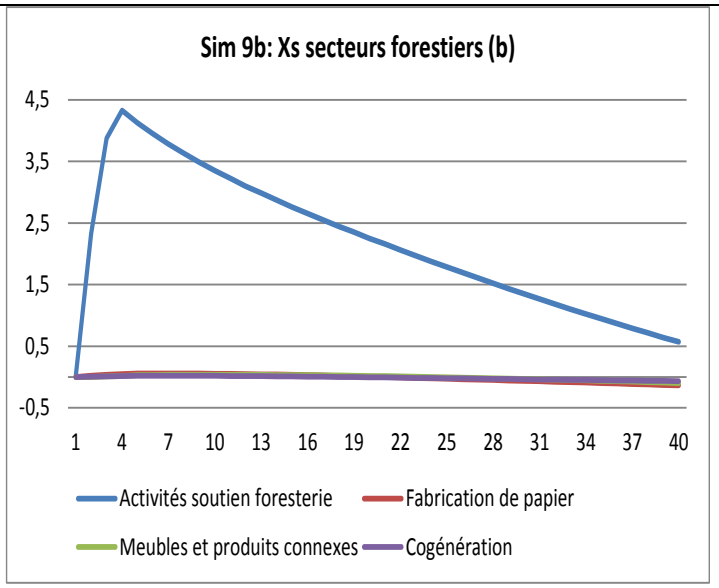



**Tableau 25 : Simulation 9b, variables macroéconomiques et la production**



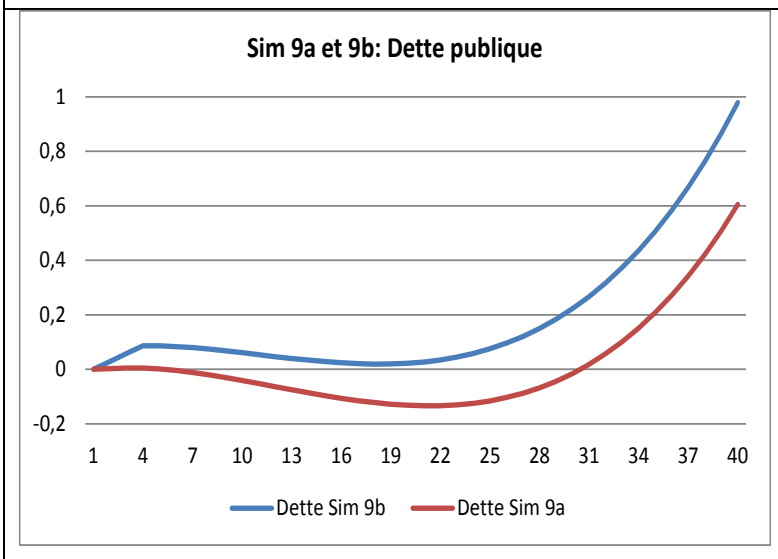
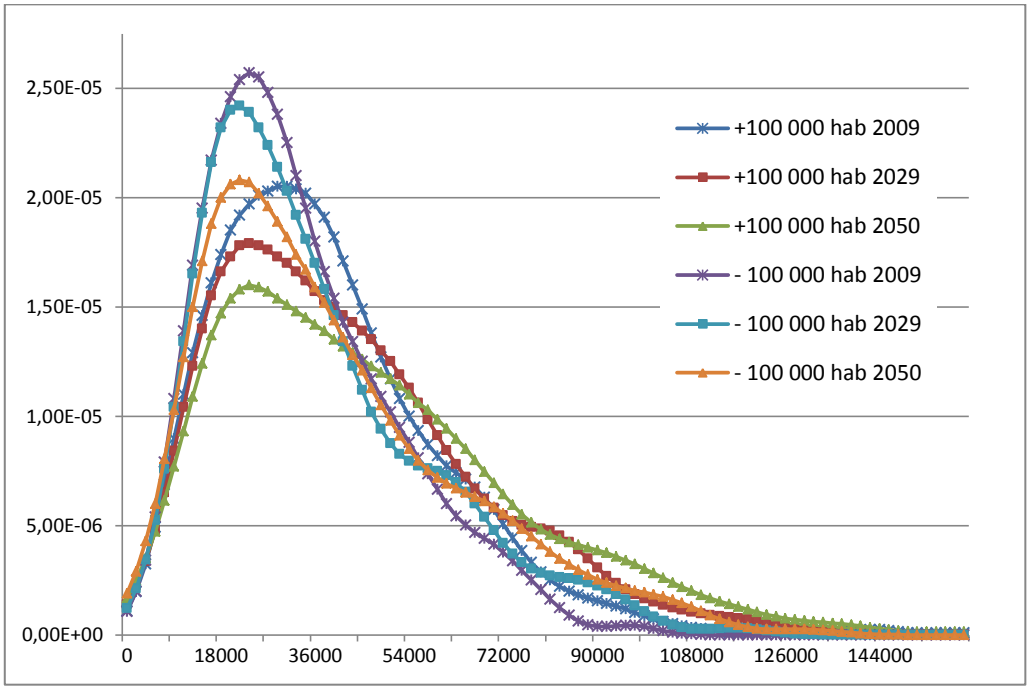
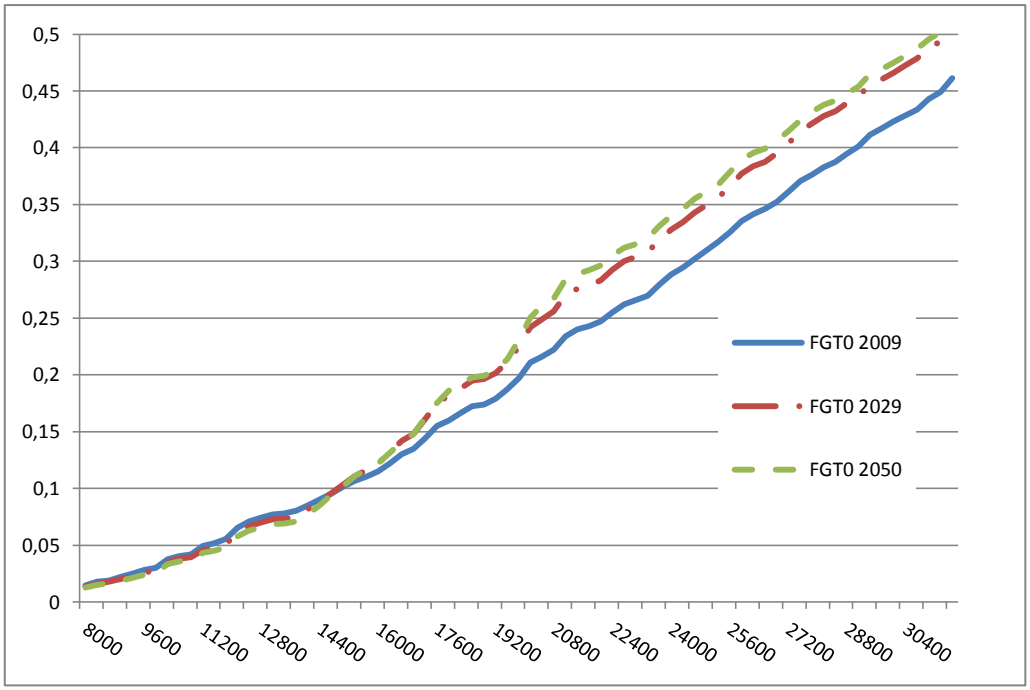



**Figure 9 : Distributions des revenus en équivalent adulte (BAU – Zones d'habitation urbaines)**




Source : EDM et calculs effectués par les auteurs.

**Figure 10 : Courbes FGT0**




Source : EDM et calculs effectués par les auteurs.

**Tableau 26 : Impacts des changements climatiques et mesures d'adaptation sur le bien-être – Québec et zones d'habitation – Variation en % avec la BAU**

| | | Québec | | 100 000 et + | | - de 100 000 | | Rural | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Sim-BAU_2029 | Sim-BAU_2050 | Sim-BAU_2029 | Sim-BAU_2050 | Sim-BAU_2029 | Sim-BAU_2050 | Sim-BAU_2029 | Sim-BAU_2050 |
| **FGT0** | Sim 1 | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% |
| | Sim 3 | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% |
| | Sim 4 | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% |
| | Sim 9a | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% |
| | Sim 10 | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% |
| **FGT1** | Sim 1 | *-0,005%* | *-0,014%* | *-0,005%* | *-0,018%* | *-0,007%* | *-0,006%* | 0,002% | 0,004% |
| | Sim 3 | *0,005%* | *0,013%* | *0,005%* | *0,017%* | 0,007% | 0,006% | -0,003% | -0,004% |
| | Sim 4 | *0,010%* | *0,027%* | *0,011%* | *0,036%* | *0,013%* | 0,011% | -0,005% | -0,009% |
| | Sim 9a | *0,007%* | *0,022%* | *0,008%* | *0,028%* | *0,010%* | *0,011%* | -0,003% | -0,005% |
| | Sim 10 | *-0,002%* | *0,001%* | *-0,002%* | *0,001%* | *-0,003%* | *0,003%* | 0,001% | *0,001%* |
| **FGT2** | Sim 1 | *-0,004%* | *-0,014%* | *-0,005%* | *-0,018%* | -0,003% | *-0,009%* | 0,003% | *0,006%* |
| | Sim 3 | *0,004%* | *0,013%* | *0,004%* | *0,018%* | 0,003% | 0,007% | *-0,004%* | -0,005% |
| | Sim 4 | *0,007%* | *0,027%* | *0,010%* | *0,035%* | *0,006%* | 0,016% | -0,007% | -0,011% |
| | Sim 9a | *0,006%* | *0,022%* | *0,008%* | *0,028%* | 0,005% | 0,014% | -0,004% | -0,006% |
| | Sim 10 | *-0,002%* | *0,001%* | *-0,002%* | *0,001%* | -0,002% | *0,002%* | 0,001% | 0,003% |
| **Gini** | Sim 1 | *0,004%* | *0,010%* | *0,004%* | *0,009%* | *0,005%* | *0,012%* | *0,006%* | *0,013%* |
| | Sim 3 | *-0,004%* | *-0,009%* | *-0,003%* | *-0,009%* | *-0,005%* | *-0,012%* | *-0,005%* | *-0,013%* |
| | Sim 4 | *-0,008%* | *-0,020%* | *-0,007%* | *-0,018%* | *-0,010%* | *-0,025%* | *-0,011%* | *-0,027%* |
| | Sim 9a | *-0,005%* | *-0,014%* | *-0,005%* | *-0,013%* | *-0,007%* | *-0,018%* | *-0,007%* | *-0,020%* |
| | Sim 10 | *0,002%* | 0,000% | *0,002%* | 0,000% | *0,002%* | 0,000% | *0,002%* | 0,000% |