

# Macroéconomie du court terme et politique climatique: Quelques leçons d'un modèle d'offre et demande globales

Jean-François Fagnart\* et Marc Germain†‡

Juillet 2012

## Abstract

Nous introduisons le concept d'empreinte carbone dans un modèle offre globale et demande globale avec formation imparfaitement concurrentielle des prix et salaires et en examinons les propriétés de l'équilibre en présence d'une politique climatique. Nous étudions deux instruments possibles de cette politique, une taxe carbone ou un quota de permis de pollution. Nous montrons qu'à court terme la politique climatique (ou son durcissement) constitue à la fois un choc d'offre globale négatif et un choc de demande globale positif. Elle provoque donc des effets inflationnistes mais a un impact ambigu sur l'activité économique, l'emploi et le chômage. Ce n'est que dans une économie avec des rigidités nominales de salaire suffisantes que la politique climatique stimulera -sous certaines conditions- l'activité à court terme. Dans tous les cas de figure, elle pèsera négativement sur les salaires réels.

Nous étudions encore les interactions entre la politique climatique et les politiques macroéconomiques traditionnelles de demande (stimulus budgétaire ou monétaire) et d'offre (baisse des cotisations sociales). Les effets multiplicateurs de ces politiques sont influencés par l'existence d'une politique climatique et diffèrent selon l'instrument choisi (taxe ou permis).

Nous montrons les conditions sous lesquelles une réforme combinant durcissement de la politique climatique et baisse des cotisations sociales sur le travail peut engendrer un double dividende (réduction de l'empreinte carbone, baisse du chômage), sans pénaliser les salaires réels des travailleurs. Une telle politique a toutefois des effets incertains sur le solde des finances publiques.

**Mots clés:** offre et demande globales, politique climatique, taxe carbone, permis de pollution

**Key words:** aggregate demand and supply, climate policy, carbon tax, pollution permits

**JEL classification:** E10, E60, Q58

---

\*CEREC, Facultés universitaires Saint-Louis à Bruxelles et IRES, UCLouvain

†EQUIPPE, Université de Lille 3 et IRES, UCLouvain

‡Nous remercions Carmen Camacho pour ses commentaires.

# 1 Introduction

La présente note s'inscrit dans un contexte où plusieurs auteurs (par exemple, Jackson (2009)) appellent au développement d'une macroéconomie écologique, autrement dit une théorie macroéconomique robuste et instruite sur le plan écologique" (Jackson op citum, p. 129 dans la version française). Notre exercice est essentiellement à vocation pédagogique puisque nous revisitons un modèle de base de l'enseignement de la macroéconomie en y introduisant une dimension environnementale explicite. Plus précisément, nous proposons un modèle Offre Globale et Demande Globale (ci-après OG-DG) intégrant le concept d'empreinte carbone<sup>1</sup>. Par rapport à la représentation OG-DG traditionnelle, nous faisons donc apparaître un nouvel objectif, la limitation de l'empreinte carbone de l'économie, et une nouvelle politique, la politique climatique. L'instrument de celle-ci peut être soit une taxe sur les émissions de gaz à effet de serre (une taxe carbone pour faire simple), soit un système de permis de pollution négociables. Par rapport au modèle traditionnel, il y a donc un marché supplémentaire, celui des émissions, marché qui peut être implicite dans le cas d'une taxe carbone ou explicite dans le cas d'un système de permis.

Notre intention est à la fois de revisiter les propriétés du modèle OG-DG dans ce cadre élargi et d'étudier l'incidence macroéconomique de la mise en oeuvre d'une politique climatique. Nous avons privilégié ce type de politique environnementale car elle renvoie à une pollution globale qui peut être mesurée par un indicateur agrégé (en tonnes équivalent CO<sub>2</sub> par exemple). Ceci permet d'enrichir la politique économique en gardant une symétrie par rapport aux politiques traditionnelles (budgétaire, monétaire,...) dont les objectifs sont définis en termes d'indicateurs agrégés comme le taux de croissance du PIB, le taux de chômage ou le taux d'inflation.

Nous examinons la compatibilité entre l'objectif du respect d'une contrainte climatique et les objectifs macroéconomiques traditionnels de croissance, chômage faible et stabilité des prix (voire équilibre des finances publiques). Nous y soulignons les interférences entre la politique climatique et les politiques traditionnelles de soutien de la demande (politiques budgétaire ou monétaire) ou de l'offre (fiscalité sur le travail notamment). Nous étudions accessoirement comment la présence d'une politique climatique affecte les effets multiplicateurs des chocs de demande (notamment les politiques budgétaire et monétaire).

Depuis Heyes (2000), plusieurs contributions (notamment Lawn (2003), Sims (2006), Decker et Wohar (2012)) ont proposé une modélisation macro-environnementale dans un cadre IS-LM intégrant une contrainte d'Equilibre Ecologique (d'où le nom de modèle IS-LM-EE). A nos yeux, une modélisation de type IS-LM (même dans sa version à prix flexibles) pose question lorsqu'on veut étudier 1) l'impact macroéconomique immédiat d'une politique environnementale et 2) la manière dont une telle politique affecte la réaction de l'économie à différentes perturbations exogènes (comme les politiques de demande par exemple). Pour ce qui est du premier point, les politiques environnementales ont des effets sur les coûts des entreprises et donc sur leurs prix et leurs comportements d'offre. Ceci rejaillit sur l'équilibre macroéconomique de sorte que la mise en oeuvre d'une politique environnementale ne semble pas pouvoir être pleinement appréhendée par une modélisation qui ne formalise pas explicitement le côté offre de l'économie. Pour ce qui est du second point, il faut souligner que les fluctuations de l'activité économiques ont, en présence d'une politique environnementale, des répercussions sur les coûts liés aux émissions et donc sur l'évolution des prix. Ceci signifie en particulier que la manière dont l'économie est affectée par un stimulus budgétaire ou monétaire dépend de la politique environnementale en place. Ces effets sont présents même à politique environnementale constante, ce qui échappe à nouveau à une modélisation où les comportements d'offre ne sont pas explicites.

La section 2 construit les relations d'offre globale et de demande globale en présence d'un politique

---

<sup>1</sup>Du fait de notre intention pédagogique, la manière dont l'environnement est intégré dans notre modélisation reste donc partielle mais le concept d'empreinte carbone a néanmoins été retenu par la Commission Stiglitz de préférence à d'autres concepts (comme l'empreinte écologique par exemple), plus exhaustifs mais aussi moins "rigoureux" (p. 78 de la version française du rapport).

climatique. Nous y montrons en quoi cette politique affecte ces relations d'offre et de demande selon l'instrument choisi. Dans la section 3, nous étudions l'impact de la politique climatique sur l'équilibre macroéconomique de court terme (avec et sans rigidités nominales des salaires). Nous étudions les caractéristiques d'une politique de double dividende (s'appuyant sur un durcissement de la politique climatique et sur une baisse des cotisations sociales sur le travail). Nous montrons enfin comment la présence d'une politique climatique affecte les effets des politiques de demande (budgétaire et monétaire) en présence de rigidités nominales.

## 2 Le modèle

L'économie décrite est fermée. Il n'y a qu'un seul facteur de production variable (le travail), les équipements productifs et la technologie de production en place étant donnés. L'activité de production génère des émissions de gaz à effets de serre (ci-après GES) qui dépendent du volume de production.

Une politique climatique est à l'oeuvre, dont l'instrument est soit une taxe sur les émissions polluantes, soit un quota de permis de pollution. Les entreprises supportent donc (en partie) le coût de leurs émissions, ce qui les pousse à vouloir réduire celles-ci au prix de dépenses de dépollution.

Le bien final produit est un bien à tout faire. La demande globale pour ce bien a quatre composantes: les consommations finales privée ( $C$ ) et publique ( $G$ ), l'investissement productif  $I$  et les dépenses de dépollution. Celle-ci constitue une composante supplémentaire de la demande finale agrégée par rapport au modèle standard et distinguer explicitement permet de faire apparaître plus clairement l'impact de la politique climatique sur la demande globale et partant, sur l'équilibre OG-DG.

La formation des prix et celle des salaires découlent de comportements imparfaitement concurrentiels sur les marchés des biens et du travail.

### 2.1 Le bloc Offre Globale

#### 2.1.1 Technologie et intensité polluante de la production

La technologie est décrite par la relation:

$$Y = qL \tag{1}$$

où  $Y$  et  $L$  désignent respectivement la production à usage final et l'emploi agrégé. Le paramètre  $q$  est un indice de productivité du travail<sup>2</sup>. L'indice des prix de la production finale est  $p$ .

La production s'accompagne d'émissions de GES en quantité

$$Z = \zeta Y - A \tag{2}$$

où  $\zeta$  est l'intensité polluante de la technologie (émissions par unité produite) et  $A$  sont les émissions évitées grâce aux efforts de réduction<sup>3</sup>.  $Z$  définit l'**empreinte carbone** de l'économie.

Dans cet exercice pédagogique d'analyse macroéconomique de court terme, nous ne modélisons explicitement que les décisions opérationnelles des entreprises, c'est-à-dire celles qui ont un effet sur l'activité présente et les coûts associés. Ces décisions concernent le prix, la production, l'emploi

---

<sup>2</sup>L'hypothèse de rendements d'échelle constants n'est pas cruciale mais simplifie l'analyse formelle et permet d'éviter une distinction explicite entre grandeurs micro et macro-économiques.

<sup>3</sup> $Z$  dépend ici seulement de la valeur ajoutée alors qu'il dépend dans les faits de la production. Il serait plus réaliste de faire dépendre  $Z$  de la production totale. Cependant, si on suppose que les consommations intermédiaires sont linéairement proportionnelles à la production, les deux représentations sont équivalentes.

et la réduction des émissions. Pour ces variables, on supposera donc des équations de comportements compatibles avec une logique de maximisation de l'excédent d'exploitation dans un contexte de concurrence imparfaite. Les décisions d'investissement présentes n'affecteront que dans le futur la productivité du travail  $q$  et/ou l'intensité polluante de la technologie  $\zeta$ : elles n'ont donc aucun impact sur les comportements d'offre présents et sont donc exclusivement une composante de la demande agrégée (voir plus loin).

Le travail est soumis à un prélèvement de cotisations sociales. La masse salariale est donc  $w[1 + \tau_l]L$  où  $w$  est le salaire nominal et  $\tau_l$  est le taux de cotisation sociale.

Sur un plan technologique, notre a priori diffère donc assez sensiblement des modélisations à la Heyes dont nous avons parlé dans l'introduction. Elles supposent qu'il existe à un moment donné du temps un éventail de technologies se différenciant les unes des autres par leur intensité polluante (ou leur intensité en ressource naturelle) et que le caractère plus ou moins propre de la technologie utilisée peut s'ajuster facilement à court terme (au niveau des taux d'intérêt notamment). Dans tous les modèles cités plus haut sauf Decker et Wohar (2012), des taux d'intérêt plus (resp. moins) élevés s'accompagnent de l'utilisation de technologie plus (resp. moins) destructrices de l'environnement et font que la contrainte environnementale est satisfaite à des niveaux d'activité moins (resp. plus) élevés<sup>4</sup>. Decker et Wohar (2012) envisagent le lien inverse traduisant une complémentarité technologique entre capital productif et capital environnemental: des taux d'intérêt plus élevés s'accompagnent d'une dynamique d'accumulation moindre et donc d'une pression moindre de l'économie sur l'environnement. A nos yeux, peu importe in fine que ces modélisations supposent substituabilité ou complémentarité des capitaux productif et environnemental: dans les deux cas en effet, elles superposent au cadre plutôt courttermiste des modélisations de type IS-LM une hypothèse de grande flexibilité des technologies productives (s'agissant de leur intensité en ressource ou intensité polluante), hypothèse qui ne semble convenir que pour un horizon temporel de moyen voire long terme. Le message qui ressort de ces modélisations s'en trouve considérablement obscurci<sup>5</sup>.

Notre point de vue est qu'un modèle où les processus d'accumulation (du capital productif notamment) et de progrès techniques ne sont pas explicitement décrits reste inévitablement un modèle de court terme: à l'échelle de temps du modèle, l'intensité polluante (comme l'intensité en ressource) de la production est largement (chez nous exclusivement) l'héritage des choix d'investissement et de technologie passés.

### 2.1.2 Coût de l'empreinte carbone et effort de dépollution

Une politique climatique est mise en oeuvre et contraint les entreprises à internaliser (en partie) le coût de leur empreinte carbone. Deux modalités de cette politique sont envisagées par la suite : une taxe environnementale (ou plus simplement taxe carbone) et un marché de permis d'émission de CO<sub>2</sub>.

1. Dans le premier cas, une taxe carbone de valeur nominale  $T_z$  est payée par unité d'émission avec

$$T_z = \tau_z p \tag{3}$$

où  $\tau_z > 0$  est la valeur réelle de la taxe<sup>6</sup>.

---

<sup>4</sup>On peut voir ici une hypothèse de substitutabilité entre capital environnemental et capital productif. Des taux d'intérêt plus élevés freinent à l'accumulation du capital productif et pénalisent ainsi l'adoption d'une technologie moins destructrice de l'environnement et in fine le capital environnemental. Mais ce processus n'est pas explicitement décrit.

<sup>5</sup>La superposition des échelles de temps est particulièrement évidente dans l'analyse qui est faite des politiques budgétaire et monétaire. S'agissant de leur impact sur l'activité, les stimuli budgétaire et monétaire apparaissent comme des chocs sur IS et LM finalement identiques à ceux d'une analyse IS-LM à prix fixes. L'impact de ces stimuli sur les taux d'intérêt produit dans le même temps un changement technologique qui dans les faits ne semble susceptible de se produire pleinement que dans une échelle de temps où l'impact avancé des stimuli budgétaire et monétaire pourrait avoir disparu ou s'être considérablement amoindri.

<sup>6</sup>Par symétrie avec le système de permis où le prix nominal du permis est homogène de degré 1 en  $p$  (voir plus bas),

2. Dans le second cas, l'autorité environnementale choisit un niveau cible d'émissions

$$Z = \widehat{Z} \quad (4)$$

où  $\widehat{Z}$  désigne la contrainte climatique exprimées en tonnes équivalent carbone (tCO<sub>2</sub> ci-après) et dont le respect est assuré par la mise en circulation d'une quantité correspondante de permis. Dans ce cas,  $T_z$  est le prix nominal du permis d'émission d'une tCO<sub>2</sub> et les entreprises doivent acheter autant de permis que de tCO<sub>2</sub> émises<sup>7</sup>. Le prix du permis s'ajuste pour que les émissions respectent le plafond choisi.

Dans les deux cas, le coût supporté par les entreprises pour leur empreinte carbone est  $T_z Z$ . Ce coût pousse les entreprises à vouloir réduire leurs émissions. A court terme, les entreprises ne peuvent le faire que par des activités de dépollution: pour réduire leurs émissions d'une quantité  $A$ , elles doivent acheter des biens/services de dépollution en quantité  $g(A)$  (où  $g(0) = g'(0) = 0, g' > 0, g'' > 0$ ). Leurs dépenses de dépollution sont donc égales à  $pg(A)$ . Le choix optimal de l'effort de dépollution  $A$  est déterminé par l'égalité entre le coût marginal de dépollution  $pg'(A)$  et le gain marginal à le consentir (égal au coût marginal de l'empreinte carbone c'est-à-dire  $T_z$ ).  $A$  doit donc être tel que:

$$g'(A) = \frac{T_z}{p} \quad (5)$$

Comme  $g'$  est croissante, l'effort de dépollution des firmes est une fonction croissante de la fiscalité environnementale ou du prix des permis:

1. Dans le modèle avec taxe, (5) et (3) conduisent à

$$A = g'^{-1}(\tau_z) = A(\tau_z)$$

avec  $A'_{\tau_z} = 1/(g''(A)) > 0$ .

2. Dans le modèle avec permis, le prix du permis  $T_z$  doit être suffisamment élevé pour pousser les entreprises à déployer des efforts de dépollution qui rendent leur production compatible avec la contrainte climatique. Vu (2) et (4),  $A = \zeta Y - \widehat{Z}$ . Cette dernière égalité et (5) impliquent que le prix réel des permis s'établit au niveau

$$\frac{T_z}{p} = g'(\zeta Y - \widehat{Z}) \quad (6)$$

Le prix du permis est croissant dans le niveau d'émissions (i.e.  $\zeta$  et  $Y$ ) et décroissant en  $\widehat{Z}$ .

### 2.1.3 Formations des prix et des salaires

Le niveau général des prix découle du comportement d'entreprises monopolistiques qui appliquent un coefficient de marge ( $\mu \geq 1$ ) à leur coût marginal de production:

$$PS \equiv p = \mu \left[ \frac{w [1 + \tau_l]}{q} + T_z \zeta \right]. \quad (7)$$

Le coût marginal de production (terme entre crochets) est la somme de 2 termes: (i) le coût du travail lié à la production d'une unité supplémentaire (c'est aussi le coût unitaire du travail dans le présent cas) et (ii) le coût des émissions induites par la production d'une unité supplémentaire.

---

nous avons supposé que la valeur nominale de la taxe était parfaitement indexée au niveau général des prix. Sans cette hypothèse, la taxe serait affectée par une rigidité nominale qui affecterait la comparaison taxe-permis dès lors que le système de permis n'engendre aucune rigidité nominale du prix du permis.

<sup>7</sup>On suppose donc qu'il n'y a pas de permis distribués gratuitement aux pollueurs.

On postule une règle de formation des salaires cohérente avec les modèles de négociations salariales. Le salaire négocié dépend positivement du taux d'emploi  $\ell = L/N$  (avec  $N$  la population active)<sup>8</sup> et positivement du niveau réel de l'allocation de chômage  $b$ . Les revendications nominales sont par ailleurs affectée par l'évolution des prix. Nous supposons donc la règle suivante de formation des salaires nominaux nets de cotisations sociales:

$$WS \equiv w = p^\gamma W(\ell, b). \quad (8)$$

où  $0 < \gamma \leq 1$  représente le degré d'indexation des salaires nominaux (ou l'élasticité du salaire nominal au niveau des prix) et  $W'_\ell(\ell, b), W'_b(\ell, b) > 0$ . L'allocation de chômage définit un seuil sous lequel le salaire ne peut tomber:  $\forall \ell > 0, W(\ell, b) > W(0, b) \geq b$ . Nous notons  $\eta_{W \cdot \ell}$  l'élasticité de  $W$  à  $\ell$ :

$$\eta_{W \cdot \ell} \equiv \frac{\ell}{W(\ell, b)} W'_\ell(\ell, b).$$

Elle est un indicateur de la sensibilité du salaire aux déséquilibres du marché du travail: le degré de flexibilité du marché du travail est d'autant plus élevé que  $\eta_{W \cdot \ell}$  est élevé. La limite  $\eta_{W \cdot \ell} \rightarrow \infty$  correspond à un ajustement parfaitement concurrentiel des salaires.

#### 2.1.4 Propriétés de l'offre globale

##### (a) Construction d'OG

En substituant  $w$  par (8) dans (7), on peut réécrire la relation PS comme

$$p = \mu \left[ p^\gamma W(\ell, b) \frac{[1 + \tau_l]}{q} + \zeta T_z \right]$$

où  $T_z$  est donné par (3) ou (6) selon l'instrument de politique climatique en vigueur. En exprimant le taux d'emploi comme une fonction de l'activité  $\ell(Y) = L/N = Y/(qN)$ , la relation précédente devient une fonction d'offre globale liant l'offre rentable des entreprises au niveau général des prix:

1. Dans le cas d'une taxe carbone, l'offre globale est donnée par

$$OG^T(Y, p) = \left\{ (Y, p) \text{ tels que } p^{1-\gamma} = \frac{1 + \tau_l}{\mu^{-1} - \zeta \tau_z} \frac{W(\ell(Y), b)}{q} \right\}. \quad (9)$$

2. Dans le cas d'un marché de permis, l'offre globale est donnée par

$$OG^P(Y, p) = \left\{ (Y, p) \text{ tels que } p^{1-\gamma} = \frac{1 + \tau_l}{\mu^{-1} - \zeta g'(\zeta Y - \hat{Z})} \frac{W(\ell(Y), b)}{q} \right\}. \quad (10)$$

La courbe d'offre globale d'un modèle "standard" (c'est-à-dire sans taxe carbone ou permis) s'obtient comme un cas limite des deux relations précédentes (respectivement avec  $\tau_z = 0$  ou  $\hat{Z} \rightarrow \infty$ ):

$$OG(Y, p) = \left\{ (Y, p) \text{ tels que } p^{1-\gamma} = \frac{1 + \tau_l}{\mu^{-1}} \frac{W(\ell(Y), b)}{q} \right\}. \quad (11)$$

Qualitativement, les variables exogènes  $b, \mu, \tau_l, q$  ont le même impact sur l'offre globale avec ou sans politique climatique. Nous n'en parlerons donc pas et nous centrerons sur le rôle que jouent les variables liées à la politique climatique ( $\tau_z$  ou  $\hat{Z}$ ) et l'intensité polluante de la technologie  $\zeta$ .

<sup>8</sup>Ou négativement du taux de chômage  $1 - \ell$ .

## (b) Propriétés d'OG

*Lemme 1: Quelque soit l'instrument de politique climatique en vigueur, l'offre globale est une fonction croissante du niveau général des prix, l'élasticité prix de l'offre globale étant d'autant plus grande que la rigidité nominale des salaires est forte (ou que  $\gamma$  est faible) et que les salaires sont peu sensibles aux déséquilibres du marché du travail (ou que  $\eta_{W,\ell}$  est faible).*

Ce lemme est plus formellement prouvé dans l'Annexe 1 et vaut qu'il y ait ou non mise en oeuvre d'une politique climatique. A l'extrême, et quelque soit l'instrument de politique climatique, l'élasticité prix de l'offre globale devient nulle en l'absence de rigidité nominale (c'est-à-dire ici si  $\gamma = 1$ ) ou dans le cas d'un fonctionnement parfaitement concurrentiel du marché du travail (c'est-à-dire si  $\eta_{W,\ell} \rightarrow \infty$ )<sup>9</sup>.

L'examen des relations (9), (10) et (11) permet d'établir aisément la proposition suivante dont la preuve est donnée dans l'Annexe 1.

### Proposition 1:

1. *Dans l'espace  $(Y, p)$ , l'offre globale  $OG^T$  (resp.  $OG^P$ ) est d'autant plus verticale que la taxe carbone est élevée (resp. que la contrainte d'émission est basse) et que la technologie est polluante. En mots, une augmentation du volume d'activité rentable des entreprises réclame une hausse d'autant plus forte du niveau général des prix que la politique climatique est ambitieuse et, à politique climatique donnée, que la technologie est polluante.*
2. *Dans l'espace  $(Y, p)$ ,  $OG^P$  est plus verticale qu' $OG^T$ : la sensibilité de l'offre globale au niveau général des prix est moins forte le long d' $OG^P$  que le long d' $OG^T$ . En mots, une variation relative donnée du niveau d'offre rentable des entreprises réclame, à politique climatique inchangée, une variation relative plus forte du niveau des prix en présence d'un système de permis qu'en présence d'une taxe carbone.*
3. *La mise en oeuvre ou le durcissement d'une politique climatique est un choc d'offre globale négatif: à prix donné, le niveau d'offre satisfaisant la relation (9) lorsque  $\tau_z > 0$  (resp. (10) avec  $\hat{Z}$  contraignant) est inférieur au niveau d'offre satisfaisant (11).*

Les intuitions derrière les différents points de cette proposition sont très claires.

1. Plus la politique climatique est ambitieuse (ou plus la technologie est polluante) plus le coût marginal des émissions est élevé. Pour être profitable, une variation donnée de l'activité économique doit donc s'accompagner d'une hausse de prix d'autant plus forte que  $\tau_z$  est élevé (ou que  $\hat{Z}$  est faible) ou que  $\zeta$  est élevé.
2. L'offre globale du modèle avec permis est en tout point compatible avec un niveau donné d'émissions. Dès lors, une hausse de l'activité économique doit s'accompagner d'une hausse du prix de permis telle qu'elle engendre de nouveaux efforts de dépollution permettant d'éviter les émissions supplémentaires. Une hausse de l'activité implique donc des coûts de production plus élevés et une hausse de prix plus forte que dans le modèle avec taxe où la taxe reste inchangée le long d' $OG^T$  (la qualité de l'environnement n'étant donc pas constante).

Alternativement, on peut aussi se demander comment l'offre réagit à une variation donnée du niveau des prix selon qu'il y ait permis ou taxe carbone. Une hausse donnée de prix stimulera moins l'offre rentable dans l'économie avec permis car pour produire plus, les entreprises doivent supporter des prix de permis plus élevés, ce qui tempère l'amélioration de rentabilité qui découle de la hausse initiale des prix. A l'inverse, une baisse donnée de prix affectera moins l'offre

<sup>9</sup>Si  $\gamma = 1$ , l'offre globale est alors donnée par la valeur  $Y^*$  telle que  $(1 + \tau_l)W(\ell(Y^*), b) = (\mu^{-1} - \zeta\tau_z)q$  dans le cas de la taxe ou telle que  $(1 + \tau_l)W(\ell(Y^*), b) = (\mu^{-1} - \zeta g'(\zeta Y^* - \hat{Z}))q$  dans le cas du marché de permis. Si  $\eta_{W,\ell} \rightarrow \infty$ , l'offre globale est alors simplement  $Y^* = qN$ .

rentable de la même économie car la réduction de l'activité fera baisser le prix des permis, ce qui tempèrera la perte de rentabilité qui découle de la baisse initiale des prix.

3. Enfin, une politique climatique plus exigeante augmente le coût marginal des entreprises et réduit leur offre rentable à prix donné. Alternativement, on peut encore raisonner à niveau d'activité donné et constater que le niveau de prix compatible avec le niveau d'offre donné par les relations (9) ou (10) est, du fait des coûts de dépollution, supérieur à celui donné par la relation (11).

### (c) Comparaison graphique d'OG avec taxe et OG avec permis

Considérons un niveau donné de taxe  $\tau_z$  et un niveau de la contrainte d'émission  $\hat{Z}$ . Pour ce couple  $(\tau_z, \hat{Z})$ , il existe un niveau d'activité auquel taxe et permis sont équivalents au sens où ils imposent les mêmes coûts de dépollution aux entreprises et conduisent au même niveau général des prix. La comparaison entre les expressions de (9) et (10) montre que le niveau d'activité  $\hat{Y}$  auquel les deux politiques environnementales sont équivalentes est tel que  $\zeta\tau_z = \zeta g'(\zeta\hat{Y} - \hat{Z})$ . Donc,

$$\hat{Y} = \hat{Y}(\tau_z, \hat{Z}) = \frac{g'^{-1}(\tau_z) + \hat{Z}}{\zeta}. \quad (12)$$

Graphiquement dans l'espace  $(Y, p)$ , les deux offres globales ont leur intersection à ce niveau d'activité  $\hat{Y}(\tau_z, \hat{Z})$ . En ce point, l'offre globale avec permis est nécessairement moins élastique au prix que l'offre globale avec taxe comme l'a montré le point 2 de la proposition 1 de la sous-section précédente. Sur base de ces différents éléments<sup>10</sup>, on peut représenter  $OG^T$ ,  $OG^P$  et  $OG$  (offre globale qui prévaut en l'absence de toute mesure environnementale) comme sur la Figure 1.

Puisque l'empreinte carbone est constante le long d' $OG^P$ , il en découle qu'à prix donné, tout point à gauche d' $OG^P$  implique une empreinte carbone plus faible que le long d' $OG^P$ . À l'inverse, à prix donné, tout point à droite d' $OG^P$  implique une empreinte carbone plus forte que le long d' $OG^P$ . Ainsi, sur la portion d' $OG^T$  au-dessus (resp. en dessous) d' $OG^P$ , l'empreinte carbone est plus faible (resp. plus grande) que le long d' $OG^P$ .

## 2.2 Bloc DG

### 2.2.1 Composantes de la demande

Dans ce modèle, on distingue un nouveau poste de dépenses finales: les dépenses de dépollution  $g(A)$ . Nous désignons la consommation finale privée et l'investissement par un terme commun  $D(Y, r, p, \dots)$  qui indique le niveau de ces demandes finales en fonction de l'activité, des taux d'intérêt réel ( $r$ ), du niveau général des prix et d'autres variables exogènes représentées par les "...".

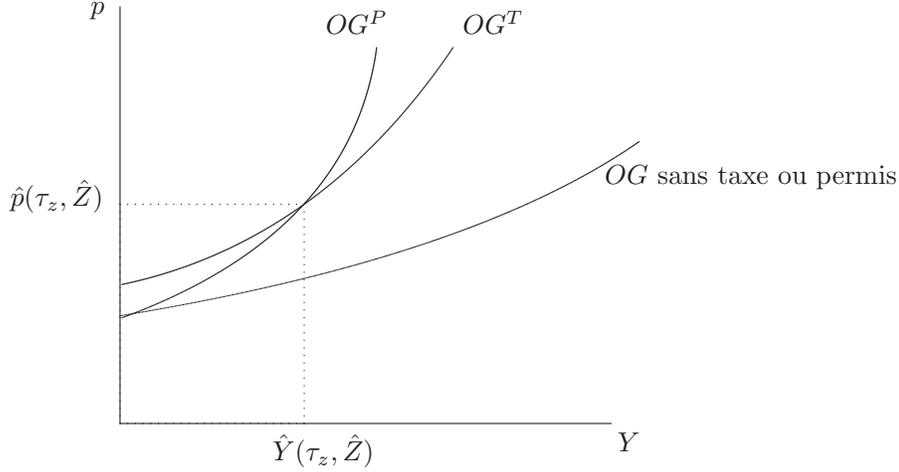
- La sensibilité de  $D(Y, r, p, \dots)$  à l'activité économique ( $D'_Y > 0$ ) traduit l'effet d'entraînement de l'activité sur la demande agrégée (effet positif du revenu disponible présent sur la consommation des ménages et effet accélérateur de l'activité sur l'investissement).
- La sensibilité de  $D(Y, r, p, \dots)$  au taux d'intérêt réel ( $D'_r < 0$ ) traduit l'effet négatif du taux d'intérêt sur certaines dépenses d'investissement et de consommation privées.

<sup>10</sup>Notons en outre qu'en  $Y = 0$ , le niveau de prix satisfaisant la relation (9) est strictement supérieur au niveau de prix satisfaisant (11) car si  $\tau_z, \zeta > 0$ ,

$$\frac{1 + \tau_l}{\mu^{-1} - \zeta\tau_z} \frac{W(0, b)}{q} > \frac{1 + \tau_l}{\mu^{-1}} \frac{W(0, b)}{q}.$$

Par contre, le niveau de prix satisfaisant la relation (10) avec  $Y = 0$  et donc  $A = 0$  est égal au niveau de prix satisfaisant (11) si  $g'(0) = 0$ .

Figure 1: OG avec et sans politique climatique



- La sensibilité de  $D(Y, r, p, \dots)$  au niveau général des prix ( $D'_p \leq 0$ ) capture l'effet négatif éventuel que la hausse des prix peut avoir sur certains revenus réels (et donc sur certaines dépenses) lorsque les revenus nominaux sont mal protégés contre les hausses des prix.  $D'_p = 0$  dans un cas d'indexation parfaite de toutes les revenus nominaux;  $D'_p < 0$  en cas d'indexation imparfaite de certains revenus (comme les salaires par exemple lorsque  $\gamma < 1$ ).

La demande agrégée s'écrit donc

$$Y = g(A) + D(Y, r, p, \dots) + G \tag{13}$$

où  $G$  désigne les demandes finales publiques (de consommation ou d'investissement).

### 2.2.2 Comportement de l'autorité monétaire

Nous suivons la suggestion de D. Romer (1999, 2000) et substituons une fonction de réaction de la banque centrale à la représentation de la sphère monétaire rencontrée dans les modélisations de type IS-LM. L'autorité monétaire suit une règle de taux d'intérêt liant positivement le taux d'intérêt réel à l'inflation  $\pi$  et à l'activité économique  $Y$ :

$$r = r_0 + \mathcal{R}(\pi, Y) \tag{14}$$

où  $r_0 > 0$  est une constante et  $\pi = \frac{p}{p_{-1}} - 1$  (avec  $p_{-1}$  donné). On suppose que  $\mathcal{R}'_\pi > 0$ , ce qui traduit la volonté de la banque centrale de lutter contre l'inflation. De même,  $\mathcal{R}'_Y \geq 0$ , ce qui traduit la préoccupation éventuelle de la banque centrale pour l'activité économique, une baisse de l'activité l'amenant à assouplir ses taux d'intérêt.

### 2.2.3 La courbe DG et ses propriétés

En introduisant (14) et  $A = g'^{-1}(\tau_z)$  ou  $A = \zeta Y - \hat{Z}$  dans (13), on peut définir les relations de demande globale avec taxe et permis respectivement comme suit:

$$DG^T(Y, p) = \{(Y, p) \text{ tels que } Y = g(g'^{-1}(\tau_z)) + D(Y, r_0 + R(p, Y), p, \dots) + G\} \quad (15)$$

$$DG^P(Y, p) = \{(Y, p) \text{ tels que } Y = g(\zeta Y - \hat{Z}) + D(Y, r_0 + R(p, Y), p, \dots) + G\}. \quad (16)$$

La fonction de demande globale sans politique climatique apparaît comme un cas particulier de ces deux expressions avec des dépenses finales de dépollution nulles:

$$DG(Y, p) = \{(Y, p) \text{ tels que } Y = D(Y, r_0 + R(p, Y), p, \dots) + G\}. \quad (17)$$

L'examen de ces trois relations permet aisément d'établir la proposition suivante dont la preuve est dans l'Annexe 2.

**Proposition 2:**

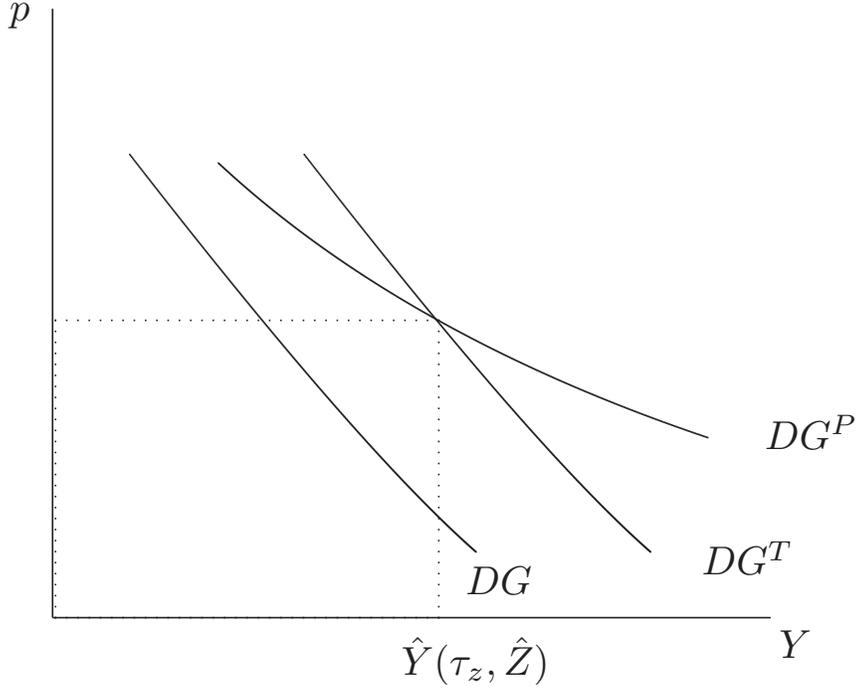
1. *La demande globale est une fonction négative du niveau général des prix et sa sensibilité au niveau des prix est plus grande dans le cas d'un système de permis que dans celui d'une taxe carbone.*
2. *A  $p$  donné, la politique climatique stimule la demande pour les activités de dépollution et implique une demande globale ( $DG^T$  ou  $DG^P$ ) plus forte qu'en l'absence de politique climatique  $DG$ .*

Le point 1 découle de ce que l'effet d'entraînement de l'activité économique sur la demande agrégée est plus fort dans le cas d'un système de quota de permis car le respect du quota fait qu'une hausse (resp. baisse) de l'activité implique aussi plus (resp. moins) d'efforts de dépollution, contrairement à ce qui se passe dans l'économie avec taxe. Une hausse (resp. baisse) du niveau général des prix a donc un effet négatif (resp. positif) supplémentaire sur la demande globale dans l'économie avec permis. Le point 2 reflète simplement que toutes autres exogènes égales par ailleurs, la politique climatique entraîne des dépenses finales de dépollution<sup>11</sup> qui s'ajoutent aux composantes classiques de la demande.

Notons qu'à  $p$  donné,  $DG^T$  peut être plus ou moins forte que  $DG^P$  selon que la taxe carbone pousse les entreprises à davantage ou à moins d'efforts de dépollution que le système de permis. On sait toutefois que pour chaque couple possible  $(\tau_z, \hat{Z})$ , il existe un niveau d'activité  $\hat{Y}$  (cfr. (12)) auquel taxe carbone et système de permis conduisent au même effort de dépollution. A ce niveau d'activité, la demande finale en biens de dépollution est donc la même avec taxe ou permis de sorte que, toutes autres choses égales par ailleurs,  $DG^T$  et  $DG^P$  coïncident nécessairement en ce point. A un niveau général des prix supérieur à celui qui conduit à ce niveau de demande,  $DG^P$  est nécessairement plus faible que  $DG^T$  car, en déprimant la demande, ce niveau de prix plus élevé réduit aussi les efforts de dépollution et la demande finale correspondante dans l'économie avec permis. L'inverse est vrai à un niveau général des prix plus faible. En  $\hat{Y}$ ,  $DG^P$  est donc plus horizontale que  $DG^T$  comme l'illustre la Figure 2. Par ailleurs, le niveau de prix cohérent avec le même niveau de demande globale le long de  $DG$  est nécessairement inférieur à celui atteint à l'intersection entre  $DG^P$  et  $DG^T$ .

<sup>11</sup>On pourrait admettre qu'en plus de l'effet sur les dépenses de dépollution, la politique climatique puisse affecter les investissements productifs repris sous la fonction  $D$ . Deux cas de figure sont possibles. Dans le premier, la politique climatique pourrait engendrer des investissements supplémentaires (par exemple en technologie verte) ce qui signifierait un stimulus de demande plus fort que celui présent ici. Le second cas correspond au scénario contraire: parce qu'elle affecte négativement la rentabilité de certains investissements, la politique climatique pourrait décourager certaines dépenses en capital, auquel cas le stimulus de demande serait plus faible que ce que nous considérons ici.

Figure 2: DG avec et sans politique climatique



### 3 Propriétés de l'équilibre macroéconomique de court terme

Ci-après, nous appelons équilibre macroéconomique le couple  $(p, Y)$  solution du système OG-DG considéré (3 systèmes possibles: (9-15) avec taxe, (10-16) avec permis, (11-17) sans politique climatique). Il découle de ce couple  $(p, Y)$  la valeur des autres variables macroéconomiques:  $(\ell, w, r, Z, A)$ . Nous étudions tout d'abord comment la mise en oeuvre de la politique climatique ou son durcissement affecte cet équilibre.

#### 3.1 L'effet de la politique climatique

*Lemme 2: Il correspond à tout niveau de taxe carbone un niveau du plafond d'émissions qui conduit au même équilibre macroéconomique.*

Cette équivalence est assez immédiate. Si  $Y^T$  est le niveau d'activité économique à l'équilibre  $OG^T - DG^T$  avec un niveau donné de taxe carbone  $\tau_z$  (et à valeurs données des autres exogènes), l'empreinte carbone de cette économie avec taxe est

$$Z^T = \zeta Y^T - g'^{-1}(\tau_z). \tag{18}$$

Dans l'économie avec permis, il suffit de mettre en circulation un quota de permis  $\hat{Z} = Z^T$  pour conduire inévitablement au même coût marginal de l'empreinte carbone et au même effort de dépollution que dans l'économie avec taxe. Il s'en suit le même équilibre macroéconomique.

Cette propriété d'équivalence -sous la condition (18)- entre les équilibres qui découlent des deux instruments de la politique climatique a un double intérêt.

- D'une part, elle permet d'analyser les conséquences de la mise en oeuvre d'une politique climatique ou de son durcissement en se contentant de l'examen détaillé d'un seul des deux instruments de cette politique. En d'autres termes, il suffit d'étudier les conséquences du changement du niveau de la taxe carbone dans l'économie avec taxe pour comprendre celles qu'aurait un changement du plafond d'émissions dans l'économie avec système de permis ou vice versa.
- Par ailleurs, à politique climatique donnée, cette propriété est également utile pour comparer les propriétés de statique comparative des équilibres avec taxe et système de permis lorsqu'on modifie une exogène autre que les paramètres de la politique climatique. Graphiquement, la propriété d'équivalence assure qu'il est toujours possible de définir la valeur du plafond d'émissions de façon telle que l'intersection  $OG^P - DG^P$  soit la même que celle d' $OG^T - DG^T$ . Partant de ce point, on peut étudier et comparer les conséquences d'un déplacement de l'offre ou de la demande selon l'instrument de la politique climatique. On peut en particulier comparer les effets multiplicateurs de ces chocs.

**Proposition 3:**

a) *Toutes autres choses égales par ailleurs, une politique climatique plus sévère (une taxe carbone plus élevée) constitue simultanément un choc d'offre globale négatif et un choc de demande globale positif. Elle a des effets inflationnistes et fait varier l'activité économique comme suit*

$$dY = \underbrace{\left[ 1 - (D'_Y + D'_r \mathcal{R}'_Y) - (D'_p + D'_r \mathcal{R}'_p) \frac{\eta_{W \cdot \ell} p}{1 - \gamma Y} \right]^{-1}}_{\mathcal{M}_\tau} \left[ g'(A) A'(\tau_z) + \frac{D'_p + D'_r \mathcal{R}'_p}{1 - \gamma} \frac{p\zeta}{\mu^{-1} - \zeta\tau_z} \right] d\tau_z \quad (19)$$

Une hausse de la taxe carbone stimule l'activité économique si la condition suivante est satisfaite:

$$g'(A) A'(\tau_z) \geq - \frac{D'_p + D'_r \mathcal{R}'_p}{1 - \gamma} \frac{p\zeta}{\mu^{-1} - \zeta\tau_z}. \quad (20)$$

Elle a des effets récessifs et détruit des emplois sinon.

(b) *Par équivalence, l'équilibre macroéconomique atteint après un relèvement de la taxe carbone peut aussi être obtenu dans l'économie avec permis après un abaissement du plafond d'émissions  $\tilde{Z}$  choisi comme en (18). Un tel abaissement a des effets identiques à celui de la hausse de la taxe carbone.*

L'impact de la politique climatique sur OG et DG a été discuté et, le constat d'un effet inflationniste d'une telle politique est la conséquence qu'elle est à la fois un choc d'offre globale négatif et un choc de demande globale positif (cfr. propriétés 1 et 2). Pour la même raison, un changement de politique climatique implique une évolution incertaine de l'activité économique. La preuve des résultats algébriques de la proposition se trouve à l'Annexe 3.

La condition (20) d'un effet expansionniste de la politique climatique s'interprète simplement. Le membre de gauche représente le choc de demande initial qui découle de la politique climatique plus sévère et correspond à une demande supplémentaire pour les biens de dépollution. Ce stimulus s'oppose aux impacts négatifs de la politique climatique sur l'offre globale et de la hausse des prix sur les composantes de la demande qui y sont sensibles, impacts négatifs quantifiés par le membre de droite de (20). Cette condition est d'autant plus difficilement satisfaite que:

- Les dépenses de dépollution sont peu sensibles au niveau de la taxe carbone.

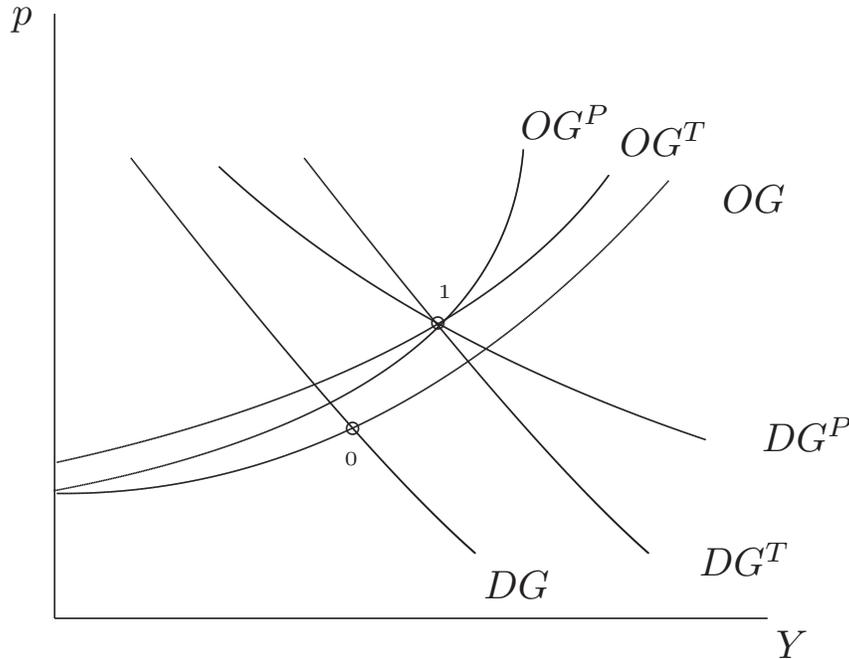
Si une exigence de dépollution plus forte peut être facilement rencontrée, elle n'aura que peu d'impact sur la demande de biens de dépollution et constituera un choc de demande faible<sup>12</sup>.

<sup>12</sup>La condition (20) pourrait être assouplie (resp. renforcée) si l'on admettait qu'en plus de l'effet sur les dépenses de dépollution, la politique climatique avait une effet positif (resp. négatif) sur les investissements productifs comme nous

- La demande globale est très sensible au prix (c'est-à-dire que  $-(D'_p + D'_r \mathcal{R}'_p)$  est élevé).  
Si la courbe de demande est plus élastique au prix, les tensions inflationnistes qui découlent de la politique climatique retroagiront davantage sur les composantes de la demande sensibles au niveau des prix et au taux d'intérêt et limiteront la hausse totale.
- Les rigidités nominales de salaires sont faibles (c'est-à-dire que  $\gamma$  est proche de 1).  
Comme la politique climatique est un choc d'offre globale négatif, l'effet du choc de demande positif doit être suffisamment fort pour que l'activité augmente malgré tout: il faut donc que l'activité soit assez sensible au niveau de la demande, ce qui suppose une offre globale suffisamment horizontale et donc une rigidité nominale suffisante des salaires.

La Figure 3 illustre l'effet de la mise en oeuvre de la politique climatique dans un cas où elle a un effet positif sur l'activité: on y compare l'équilibre sans politique climatique (point 0) à l'équilibre avec taxe carbone (point 1) (ou système de permis avec plafond d'émissions choisi comme en (18)).

Figure 3: Un cas de politique climatique expansionniste en présence de rigidités nominales

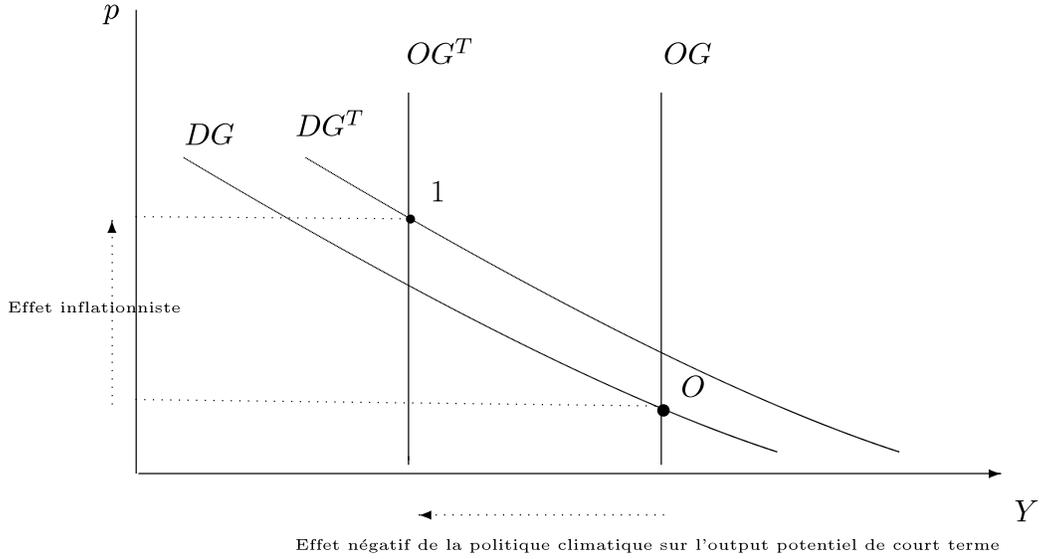


Il est intéressant d'examiner le cas particulier dans lequel il n'y a pas de rigidité nominale des salaires et où l'output est exclusivement déterminé par les déterminants de l'offre globale verticale dans l'espace  $(Y, p)$  (voir note infrapaginale 9). L'output est alors à ce qu'on peut appeler son niveau structurel de court terme, compte tenu des technologies en place. On peut vérifier aisément que la condition (20) ne peut pas être satisfaite lorsque  $\gamma = 1$  et il est alors certain que la politique climatique réduira l'activité économique et l'emploi. Comme l'illustre la Figure 4, une politique climatique plus sévère déplace l'offre globale verticale vers la gauche et contracte inévitablement l'output structurel de court terme. Il faut donc souligner que si l'activité économique est à son niveau structurel, la création

l'avons évoqué dans la note infrapaginale 11. Ainsi, si cette politique engendrait des investissements supplémentaires, le stimulus de demande serait plus fort et un nouveau terme positif apparaîtrait au membre de gauche de (20). A l'opposé, un terme négatif y apparaîtrait si la politique climatique décourageait les investissements.

d'emplois "verts" (ici les emplois liés à la production de  $g(A)$ ) qui découle de la mise en oeuvre ou du durcissement d'une politique climatique ne peut pas compenser à court terme (c'est-à-dire avec les équipements et technologies en place) les pertes d'emplois qu'implique cette politique dans les secteurs traditionnels (ici les emplois correspondant à la production de  $C + I + G$ ). Ce constat d'un impact négatif de la politique climatique sur l'output structurel de court terme subsisterait même si l'on admettait que cette politique peut éventuellement stimuler certains types d'investissement en technologie non polluantes et donc avoir un effet positif supplémentaire sur la demande globale: en l'absence de rigidités nominales, ce stimulus supplémentaire ne pourrait pas contrer l'effet de la contraction de l'offre de court terme.

Figure 4: L'impact de la politique climatique en l'absence de rigidités nominales



**Proposition 4:**

*Toutes autres choses égales par ailleurs, une politique climatique plus sévère (une taxe carbone plus élevée ou une valeur plus faible du plafond d'émission  $\hat{Z}$ ) fait baisser les salaires réels et la part des salaires dans la valeur ajoutée, cela d'autant plus que la technologie est polluante et quelque soit le degré d'indexation des salaires nominaux.*

Appelons  $\omega$  le salaire réel  $w/p$ : au vu de (8),  $\omega = p^{1-\gamma}W(\ell(Y), b)$ . Dans le cas de la taxe carbone et compte tenu de (9), il s'en suit que

$$\omega = \frac{\mu^{-1} - \zeta\tau_z}{1 + \tau_\ell}q, \quad \text{d'où, } d\omega = -\frac{\zeta q}{1 + \tau_\ell}d\tau_z.$$

La baisse de  $\omega$  suite à une hausse de  $\tau_z$  est d'autant plus forte que  $\zeta$  est élevé (que la technologie est polluante) et indépendante de  $\gamma$ . Avec la technologie considérée ici, la part des salaires dans la valeur ajoutée  $wL/(pY)$  vaut simplement  $\omega/q$  et évolue dans le même sens que  $\omega$ .

Notons finalement que l'impact du durcissement de la politique climatique sur la capacité de financement des autorités publiques est incertain, que (20) soit ou non satisfaite. D'une part, cette politique crée une hausse des recettes environnementales (sous forme de taxe ou de produit de la vente de permis). D'autre part, lorsque (20) est (resp. n'est pas) satisfaite, elle implique une évolution incertaine<sup>13</sup> (resp. négative) des recettes de cotisations sociales et une baisse (resp. une hausse) des versements d'allocation de chômage.

### 3.2 Réforme fiscale et conditions d'une politique de double dividende

Comme on l'a vu, une politique climatique peut réduire la production et aggraver le chômage. Elle pèsera en outre sur les salaires réels. Ces inconvénients pourraient cependant être atténués si la mise en oeuvre d'une politique climatique plus sévère s'accompagnait d'une baisse suffisante de la fiscalité sur le travail  $\tau_\ell$ . Une telle réforme pourrait être qualifiée de politique de double dividende lorsqu'elle conduit simultanément à une baisse de l'empreinte carbone et du chômage. Pour étudier les conséquences du policy mix (durcissement de la politique climatique, baisse des cotisations sociales), il faut en examiner l'impact sur l'équilibre OG-DG. L'Annexe 4 établit formellement comment une telle réforme affecte l'activité économique selon l'instrument de la politique climatique. Ci-après, nous n'examinons explicitement que les cas de policy-mix qui laissent intact ou augmentent le pouvoir d'achat (le salaire réel) des travailleurs. Formellement, la condition sous laquelle  $d\omega > 0$  suite à une réforme  $(d\tau_z, d\tau_\ell)$  est une condition suffisante pour que cette réforme génère un double dividende. En termes de politique économique, cette contrainte peut être vue comme une condition qui facilite l'acceptabilité du durcissement de la politique climatique (tant aux yeux des travailleurs que des entreprises).

#### Proposition 5:

a) *Une hausse de la taxe carbone accompagnée d'une baisse des cotisations sociales d'un montant*

$$d\tau_\ell = -\frac{\zeta q}{\omega} d\tau_z \quad (21)$$

*laisse inchangé les salaires réels.*

*En l'absence de rigidité nominale des salaires ( $\gamma = 1$ ), elle est en outre neutre pour l'activité, l'emploi et le chômage mais elle détériore le solde des finances publiques.*

*En présence d'une certaine rigidité nominale des salaires ( $\gamma < 1$ ), elle stimule l'activité comme suit*

$$dY = \mathcal{M}_\tau \cdot g'(A)A'(\tau_z)d\tau_z$$

*avec des effets positifs sur l'emploi mais des effets incertains sur le solde des finances publiques.*

b) *Une hausse de la taxe carbone accompagnée d'une baisse des cotisations sociales supérieure en valeur absolue à (21) accroît les salaires réels et stimule toujours l'activité et l'emploi (ou réduit toujours le chômage) avec des effets incertains sur le solde des finances publiques.*

La condition (21) d'une valeur stable des salaire réels peut s'interpréter d'une autre manière qui éclaire toute la proposition. Le durcissement de la politique climatique est, comme on l'a vu, un choc d'offre négatif alors que la baisse des cotisations sociales est un choc d'offre positif. Sous la condition (21), le choc d'offre positif induit par  $d\tau_\ell < 0$  compense exactement le choc d'offre négatif induit par  $d\tau_z > 0$ . L'offre globale est donc inchangée alors que la demande globale est stimulée par la hausse des demandes finales en biens de dépollution induite par le durcissement de la politique climatique. L'activité et l'emploi sont donc inchangés dans le cas où l'offre globale est verticale et

<sup>13</sup>L'évolution incertaine des cotisations sociales lorsque (20) est satisfaite vient de ce que l'emploi augmente mais que les salaires réels baissent de sorte que la masse salariale peut ou non baisser.

l'activité indépendante de la demande globale (cas où  $\gamma = 1$ ) mais ils sont stimulés dans les cas où l'offre globale est croissante (cas où  $\gamma < 1$ ). Lorsque la baisse des cotisations sociales est supérieure à (21), la réforme implique un choc net positif sur l'offre globale et conduit donc à une stimulation de l'activité quel que soit  $\gamma$ .

On constatera que la baisse de cotisations sociales nécessaire pour satisfaire (21) est

- d'autant plus forte que la technologie est polluante puisque l'impact négatif du durcissement de la politique climatique sur les coûts est alors plus important et nécessite une compensation plus forte en terme de réduction du coût du travail;
- d'autant plus faible que la part des salaires dans la valeur ajoutée ( $\omega/q$ ) est élevée. En effet, une baisse donnée de cotisations sociales stimulera d'autant plus la rentabilité des entreprises que la part des salaires dans la valeur ajoutée est élevée. La baisse de cotisations à consentir pour neutraliser la perte de rentabilité liée à la hausse de la taxe carbone peut donc être d'autant plus faible que la part des salaires est élevée.

Même quand un double dividende est obtenu, la réforme peut ne pas être indolore pour les finances publiques car celles-ci subissent des forces en sens contraire: il y a en effet

1. des recettes nouvelles liées au durcissement de la politique climatique:  $(Z - \tau_z A'(\tau_z))d\tau_z + \tau_z \zeta dY$ ,
2. une baisse du montant total des indemnités de chômage de  $b dL = b/qdL$ ,
3. une évolution incertaine des recettes de cotisations sociales: la perte de recettes qu'implique la baisse de  $\tau_\ell$  peut être ou non compensée par les nouvelles recettes issues de l'augmentation de l'emploi et des salaires hors cotisations sociales.

On montre facilement que l'impact total de ces 3 effets sur la capacité de financement publique s'écrit

$$\left[ \tau_z \zeta + \tau_\ell \frac{\omega}{q} + \frac{b}{q} \right] dY + \frac{L}{1 + \tau_\ell} \left[ \zeta d\tau_z + \frac{\omega}{q} d\tau_\ell \right] - (A + \tau_z A'(\tau_z))d\tau_z. \quad (22)$$

Si (21) est satisfait, le deuxième terme de (22) est nul; si en outre  $\gamma = 1$ , le premier terme est également nul et l'impact budgétaire est donc inévitablement négatif. Avec  $\gamma < 1$ ,  $dY > 0$ ; l'effet budgétaire de la mesure ne peut devenir positif que si  $dY$  est suffisamment élevé. Par un argument de continuité par rapport au cas  $\gamma = 1$ , on comprend que ceci suppose des valeurs suffisamment faibles de  $\gamma$ . Lorsque les cotisations sociales baissent plus qu'en (21), le deuxième terme de (22) est négatif, ce qui est un élément supplémentaire de détérioration du solde des finances publiques; simultanément, une telle réforme a des effets plus positifs sur l'activité (voir Annexe 4) et donc sur le premier terme de (22). Selon les cas, le solde budgétaire peut s'en trouver détérioré ou amélioré.

Une proposition comparable à la proposition 5 peut être établie dans le cas d'un système de permis mais son exposé n'apporterait pas d'intuition fondamentalement différente. Nous en ferons l'économie pour ne pas allonger davantage le corps du texte, l'analyse générale de la réforme dans le cas de permis étant de toute manière proposée dans l'annexe 4.

### 3.3 L'efficacité des politiques de demande

Lorsque des rigidités nominales sont présentes ( $\gamma < 1$ ), l'offre globale est croissante dans l'espace  $(Y, p)$  et les déterminants de OG et DG influencent conjointement l'évolution de l'activité et des prix. Les politiques de demande (budgétaire ou monétaire) peuvent alors soutenir l'activité économique et il est intéressant d'examiner en quoi leur impact est différent selon l'instrument de politique climatique

utilisé. Pour ce faire, nous étudions l'impact d'une stimulation de la demande globale découlant d'un stimulus budgétaire  $dG$ , d'une politique monétaire expansionniste  $dr_0 < 0$  ou d'un policy mix au départ de l'équilibre avec politique climatique étudié à la section 3.1 (le point 1 de la Figure 3).

**Proposition 6:**

(a) *Le multiplicateur des chocs de demande (et donc aussi des politiques de demande expansionnistes) dépend de l'instrument de politique climatique en place: il vaut  $M_\tau$  dans l'économie avec taxe carbone et*

$$\mathcal{M}_P = \left[ 1 - \zeta g'(A) + (D'_Y + D'_r \mathcal{R}'_Y) - \frac{D'_p + D'_r \mathcal{R}'_p}{1 - \gamma} \left( \eta_{W \cdot \ell} + \frac{\zeta^2 g''(A) Y}{\mu^{-1} - \zeta g'(A)} \right) \frac{p}{Y} \right]^{-1}$$

dans l'économie avec permis.

$M_\tau$  est d'autant plus faible que la taxe carbone est élevée.

Selon les cas,  $M_\tau$  peut être inférieur ou supérieur à  $M_P$  de sorte que l'effet expansionniste des chocs de demande sur l'activité en présence d'une taxe carbone peut être supérieur ou inférieur à ce qu'il est en présence d'un système de permis. Formellement,  $M_\tau > M_P$  si et seulement si

$$\frac{[1 - \gamma] g'(A) [\mu^{-1} - \zeta g'(A)]}{\zeta g''(A) p} < |D'_p + D'_r \mathcal{R}'_p|. \quad (23)$$

(b) *Les politiques de demande expansionnistes sont toujours plus inflationnistes en présence d'une politique climatique. Elles sont en outre plus inflationnistes dans l'économie avec permis que dans l'économie avec taxe carbone. Elles n'aggravent pas l'empreinte carbone de l'économie dans le cas d'un système de permis contrairement à ce qui survient dans le cas d'une taxe carbone.*

L'effet multiplicateur  $M_\tau$  (resp.  $M_P$ ) dépend du niveau de la taxe (resp. du quota de permis) au travers de son impact sur  $p, Y, \eta_{W \cdot \ell}$  et les dérivées partielles du dénominateur qui sont calculés à l'équilibre avec taxe (resp. permis) (le point 1 de la Figure 3).

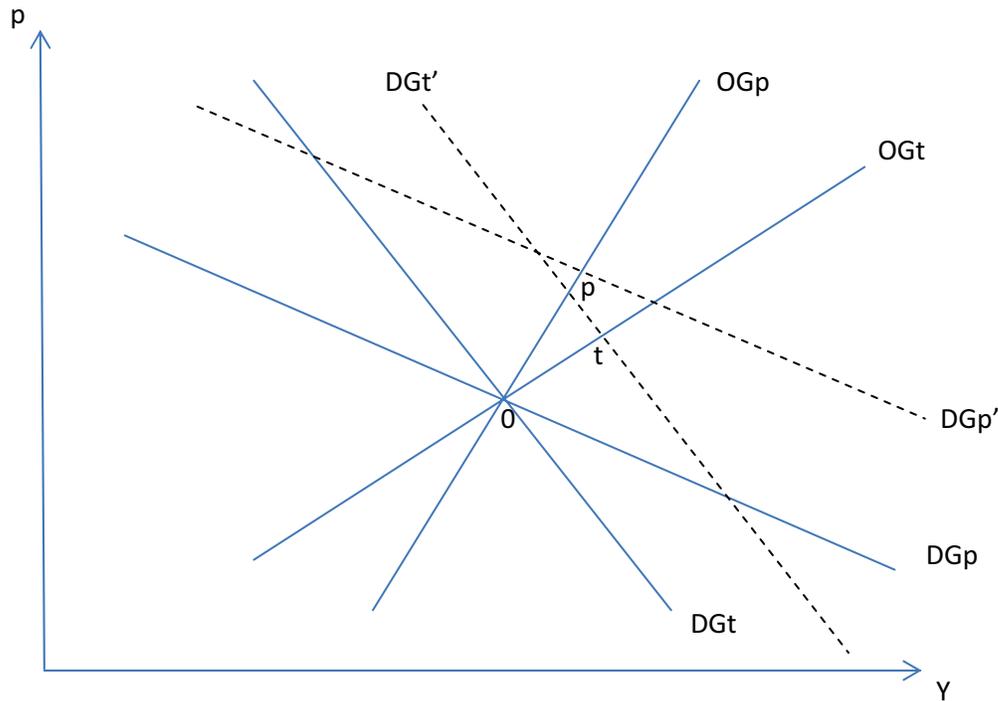
Par rapport au modèle sans politique climatique, on peut affirmer que la taxe réduit la valeur du multiplicateur, car comme on l'a vu à la sous-section 3.1, elle implique, toutes autres exogènes égales par ailleurs, un rapport  $p/Y$  plus élevé que dans l'économie sans taxe. Graphiquement, la taxe rend l'offre globale plus verticale, ce qui réduit l'impact d'un choc de demande sur l'output mais accentue son effet sur le niveau général des prix.

La comparaison de expressions de  $M_\tau$  et  $M_P$  fait apparaître deux différences dans l'expression du multiplicateur selon que l'instrument de politique climatique est une taxe carbone ou un quota de permis de pollution :

- D'une part, dans le cas d'un quota de permis, un choc qui stimule l'activité stimule les dépenses de dépollution, ce qui se traduit par un effet induit supplémentaire de l'activité sur la demande. Cet effet (absent dans le cas de la taxe) est mesuré par le terme  $\zeta g'(A)$  au dénominateur de  $M_P$ . Il accentue l'effet multiplicateur du choc.
- D'autre part, en cas de choc positif sur l'activité, un système de permis crée une pression supplémentaire sur les prix (l'offre globale est plus verticale comme nous l'avons vu). En effet, la stimulation de l'activité rejaillit sur la demande de permis et donc, à contrainte climatique inchangée, sur le prix des permis et les coûts de production. Cet effet est capturé par le terme en  $g''(A)$  dans  $M_P$  et contribue à réduire l'effet multiplicateur du choc.

Les deux effets jouent donc dans des sens opposés. Lorsque l'inégalité (23) est vérifiée, la demande finale de dépollution supplémentaire dans l'économie avec permis est inférieure à la baisse de demande

Figure 5: Impact comparatif d'une politique de demande avec taxe et permis



de finale qu'impliquent les pressions inflationnistes plus fortes du système de permis de sorte que l'effet multiplicateur de la politique de demande est plus faible dans l'économie avec permis. Ceteris paribus, cette inégalité est d'autant plus susceptible d'être vérifiée que

- les composantes habituelles de la demande privée sont sensibles au niveau général des prix (c'est-à-dire que le membre de droite de l'inégalité ci-dessus est élevé): dans ce cas en effet, la demande est, dans le système avec permis, très pénalisée par les pressions inflationnistes supplémentaires qu'implique ce système;
- les dépenses de dépollution sont peu sensibles aux variations de l'activité économique (c'est-à-dire que le membre de gauche de l'inégalité ci-dessus est faible): dans ce cas, l'effet d'entraînement de l'activité sur la demande de biens de dépollution est faible.

La Figure 5 illustre un cas où le choc de demande se traduit par une hausse de l'activité moindre dans le cadre d'un système de permis, par rapport à ce produit avec la taxe.

## 4 Conclusion

Notre modélisation a montré les répercussions de la politique climatique sur la formation des prix et salaires et, partant, sur l'équilibre macroéconomique de court terme et ses propriétés. Cet exercice met clairement en lumière plusieurs des raisons possibles de la réticence de nombreux états à mettre en oeuvre une politique climatique ambitieuse.

1. La politique climatique peut s'avérer à court terme destructrice d'activité globale et d'emplois, cela malgré son effet positif sur certains types d'activités économiques (dans notre modélisation, celles liées aux activités de dépollution mais plus généralement aussi les investissements "verts" comme cela a été évoqué). Parce que la mise en oeuvre ou le durcissement d'une politique climatique est simultanément un choc d'offre globale négatif et un choc de demande globale positif, seule une économie où les rigidités nominales sont suffisamment fortes peut voir son activité de court terme stimulée par une telle politique, pour autant toutefois que certaines conditions soient réunies.
2. En outre, la mise en oeuvre ou le durcissement de la politique climatique s'accompagne à court terme d'une baisse du niveau moyen des salaires réels et d'une évolution négative de la part des salaires dans la valeur ajoutée, cela d'autant plus que les technologies en place sont polluantes. Elle peut donc engendrer un certain nombre de tensions sociales qui compliquent son acceptabilité, tout particulièrement lorsque cette politique pèse aussi sur l'emploi.
3. Dans la foulée, l'impact de la politique climatique sur le solde des finances publiques n'est pas transparent, cela malgré les recettes propres à cette politique et même dans les cas où elle réussit à stimuler l'activité et l'emploi.

Si elle n'est pas accompagnée par une réforme suffisante de la fiscalité sur le travail, la politique climatique peut donc être coûteuse à court terme et exposer les décideurs à un dilemme entre préservation des revenus présents et préservation de l'environnement. Dans un tel cas, seule une vision suffisante et largement partagée des dangers futurs liés à la dégradation de l'environnement (ici du climat) fera en sorte que la mise en oeuvre d'une politique environnementale ambitieuse s'impose malgré ses inconvénients possibles à court terme.

Nous avons montré que deux de ces inconvénients pouvaient être évités si le durcissement de la politique climatique s'accompagnait d'une baisse suffisante de la fiscalité sur le travail. Mais même lorsqu'un double dividende est obtenu d'une telle réforme, son impact sur les finances publiques peut être négatif.

S'agissant de la comparaison *taxe versus permis de pollution*, on peut ajouter un point en lien avec la littérature qui a évalué les mérites respectifs des deux instruments (voir e.a. Baumol et Oates (1988) et Germain (2004) pour une revue de la littérature). Celle-ci a notamment montré que ces deux instruments ne sont équivalents que dans un cadre déterministe et statique<sup>14</sup>, c'est-à-dire avec information complète sur les émissions et coûts de (dé)pollution et si on ignore les impacts possibles de ces instruments sur l'incitation à l'innovation<sup>15</sup>. Le présent article montre que taxe et permis peuvent engendrer des résultats différents sur le plan macroéconomique, même dans un contexte statique avec information parfaite et sans tenir compte de l'influence de l'instrument sur l'innovation technologique. Les courbes OG et DG sont différentes selon l'instrument, avec la conséquence que, même si la taxe et le quota de permis sont ajustés pour conduire au même équilibre macroéconomique initial, un choc de politique économique (budgétaire ou monétaire) ou une autre perturbation de l'environnement macroéconomique n'aura pas le même impact sur l'économie.

Soulignons enfin deux limites de notre exercice.

- D'une part, nous n'avons considéré qu'un modèle d'économie fermée. Dans un cadre statique, on peut toutefois entrevoir assez aisément que l'ouverture internationale constituerait un autre défi pour la mise en oeuvre d'une politique climatique au niveau d'un seul pays. En effet, le fait que la politique climatique soit un choc d'offre globale négatif impliquerait, dans un contexte d'économie ouverte, qu'elle affecterait négativement la compétitivité (prix) de l'économie

<sup>14</sup>Et sous l'hypothèse que le marché de permis est parfaitement concurrentiel.

<sup>15</sup>Ceteris paribus, l'innovation induit une baisse des coûts de dépollution. Avec une taxe, cette baisse se traduit par une réduction supplémentaire des émissions (par rapport à la situation sans innovation), tandis qu'avec un marché de permis, elle se traduit par une baisse du prix des permis.

domestique à court terme. Cet effet pourrait réduire la demande globale pour la production nationale et donc augmenter encore la vraisemblance des cas où la politique climatique détruit, à court terme au moins, activité et emploi.

- D'autre part, dans le cadre d'un modèle OG-DG, les processus d'accumulation (du capital productif notamment), de l'innovation et de l'adoption technologique ne sont pas décrits. Le modèle reste donc un modèle de court terme au sens où il permet d'étudier les propriétés d'un équilibre macroéconomique avec les équipements productifs initialement disponibles et les technologies en place. Notre étude de l'impact de la politique climatique vaut donc pour ce cadre d'analyse statique. Comment cette politique pourrait affecter la dynamique de l'investissement et d'innovation et ainsi l'équilibre de moyen terme est une question dont la modélisation dépasse le cadre du modèle OG-DG considéré ici.

## Bibliographie

Baumol William et Wallace Oates (1988), *The theory of environmental policy*, Cambridge University Press, 2ème édition.

Decker C. and M. Wohar (2012), "Substitutability or Complementarity? Re-visiting Heyes' IS-LM-EE model", *Ecological Economics*, 74, 3-7.

Germain M. "Comparaison des propriétés des taxes et des permis négociables. Revue de la littérature", CLIMNEG WP n°70, 2004.

Heyes A. (2000), "A Proposal for the Greening of Textbook Macro: IS-LM-EE", *Ecological Economics*, 32, 1-7.

Jackson T. (2009), *Prosperity without Growth. Economics for a Finite Planet*, Routledge.

Lawn P.A. (2003), "Environmental Macroeconomics: Extending the IS-LM Model to Include an Environmental Equilibrium Curve", *Australian Economic Papers*, March, 118-134.

Romer D. (1999), "Short Run Fluctuations", University of California, Berkeley, mimeo revised in 2006.

Romer D. (2000), "Keynesian Macroeconomics without the LM Curve", *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 14(2), 149-169.

Sim N.C.S. (2006), "Environmental Keynesian Macroeconomics: Some Further Discussion", *Ecological Economics*, 59, 401-405.

Stiglitz J., A. Sen, J.-P. Fitoussi (2009), *Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress*, [www.stiglitz-sen-fitoussi.fr](http://www.stiglitz-sen-fitoussi.fr).

## Annexe 1: Propriétés de l'offre globale

On donne ici les éléments de preuve formelle du lemme 1 et de la proposition 1.

Lemme 1

Le lien positif entre  $p$  et  $Y$  apparaît à l'examen des relations (9), (10) et (11): leur membre de gauche est croissant en  $p$  et leur membre de droite croissant en  $Y$ . Après quelques manipulations simples, la différentielle de la relation (9) (resp. (10)) par rapport aux variables  $Y$  et  $p$  donne l'élasticité prix de la fonction d'offre globale  $OG^T$  (resp.  $OG^P$ ):

– Dans le cas de la taxe carbone,

$$\frac{dY}{Y} = \frac{1 - \gamma}{\eta_{W \cdot \ell}} \frac{dp}{p}. \quad (24)$$

– Dans le cas d'un marché de permis,

$$\frac{dY}{Y} = \left[ 1 + \frac{\zeta^2 Y}{\mu^{-1} - \zeta g'(A)} \frac{g''(A)}{\eta_{W \cdot \ell}} \right]^{-1} \frac{1 - \gamma}{\eta_{W \cdot \ell}} \frac{dp}{p} \leq \frac{1 - \gamma}{\eta_{W \cdot \ell}} \frac{dp}{p}, \quad (25)$$

l'inégalité découlant du fait que le terme entre crochets est nécessairement supérieur à 1.

Proposition 1:

1. Le dénominateur du membre de droite de (9) (resp. (10)) est d'autant plus faible que  $\zeta$  est grand et que  $\tau_z$  est élevé (resp. que  $\hat{Z}$  est faible). Il en découle un impact plus grand d'une variation de  $Y$  sur  $p$ .  $OG^T$  (resp.  $OG^P$ ) est donc d'autant plus croissante que  $\tau_z$  est élevé (resp. que  $\hat{Z}$  est faible); elle est donc aussi plus verticale que la relation OG avec  $\tau = 0$  ou  $\hat{Z} \rightarrow \infty$ .
2. Ceci se déduit aisément de la comparaison des deux expressions (9) et (10) ou de la comparaison de l'expression de leurs élasticités prix (24) et (25).
3. A niveau général de prix donné, une taxe environnementale plus élevée ou un plafond d'émissions plus bas augmente  $T_z/p$  et réduit donc la valeur du membre de droite de (9) ou (10): à prix donné, il s'en suit un taux d'emploi et un niveau d'offre globale plus faibles. Plus formellement,

- Dans le cas d'une taxe, la différentielle de (9) par rapport à  $Y$ ,  $p$  et  $\tau_z$  donne

$$\frac{dY}{Y} = \frac{1 - \gamma}{\eta_{W \cdot \ell}} \frac{dp}{p} - \frac{1}{\eta_{W \cdot \ell}} \frac{\zeta}{\mu^{-1} - \zeta \tau_z} d\tau_z, \quad (26)$$

un relèvement de  $\tau_z$  impliquant donc une baisse de  $Y$  à  $p$  donné.

- Dans le cas du système de permis, la différentielle de (10) par rapport à  $Y$ ,  $p$  et  $\hat{Z}$  donne

$$\frac{dY}{Y} = \left[ 1 + \frac{\zeta^2 Y}{\mu^{-1} - \zeta g'(A)} \frac{g''(A)}{\eta_{W \cdot \ell}} \right]^{-1} \left[ \frac{1 - \gamma}{\eta_{W \cdot \ell}} \frac{dp}{p} + \frac{1}{\eta_{W \cdot \ell}} \frac{\zeta}{\mu^{-1} - \zeta \tau_z} g''(A) d\hat{Z} \right], \quad (27)$$

un plafond d'émissions plus bas (moindre  $\hat{Z}$ ) impliquant une baisse de  $Y$  à  $p$  donné.

## Annexe 2: Propriétés de la demande globale (proposition 2)

1. Avec une taxe carbone parfaitement indexée, la valeur réelle de la taxe est indépendante du niveau des prix et  $A$  l'est donc aussi. La différentielle de (15) par rapport à  $p$  et  $Y$  s'écrit:

$$dY = D'_p dp + D'_r \mathcal{R}'_p dp + (D'_Y + D'_r \mathcal{R}'_Y) dY.$$

Les deux premiers termes du membre de droite désignent les effets négatifs possibles du niveau des prix sur certaines composantes de la demande. D'une part (terme en  $D'_p < 0$ ), certains revenus nominaux peuvent être mal protégés contre les hausses de prix qui feront donc baisser les revenus réels correspondants et réduiront ainsi certaines demandes. D'autre part (terme en  $D'_r \mathcal{R}'_p < 0$ ), une poussée inflationniste peut conduire la banque centrale à durcir sa politique monétaire et conduire à un relèvement des taux d'intérêt réels qui pénalisera les composantes de la demande qui y sont sensibles. Le troisième terme désigne les effets d'entraînement supplémentaires qui pourraient découler des deux premiers effets. Donc,

$$\left. \frac{dY}{dp} \right|_{DG^T} = \frac{D'_p + D'_r \mathcal{R}'_p}{1 - (D'_Y + D'_r \mathcal{R}'_Y)} < 0. \quad (28)$$

Avec permis, la valeur réelle des dépenses de dépollution ne dépend pas directement du niveau général des prix. Elle dépend toutefois du niveau de l'activité économique de sorte qu'elle peut être indirectement affectée par une modification du niveau général des prix via l'impact de celle-ci sur le niveau d'activité économique. La différentielle de (15) par rapport à  $p$  et  $Y$  fait apparaître cet effet induit supplémentaire:

$$dY = D'_p dp + D'_r \mathcal{R}'_p dp + (D'_Y + D'_r \mathcal{R}'_Y) dY + \zeta g'(\zeta Y - \hat{Z}) dY.$$

Il s'en suit

$$\left. \frac{dY}{dp} \right|_{DG^P} = \frac{D'_p + D'_r \mathcal{R}'_p}{1 - (D'_Y + D'_r \mathcal{R}'_Y) - \zeta g'(\zeta Y - \hat{Z})} < 0 \quad (29)$$

En valeur absolue, (29) est supérieure à (28)

2. Dans le cas d'une taxe, la différentielle de DG par rapport à  $Y$ ,  $p$  et  $\tau$  donne

$$dY = g'(A) A'_{\tau_z} d\tau_z + (D'_Y + D'_r \mathcal{R}'_Y) dY + (D'_p + D'_r \mathcal{R}'_p) dp \quad (30)$$

et, à prix donné,

$$\frac{dY}{d\tau_z} = \frac{g'(A) A'_{\tau_z}}{1 - (D'_Y + D'_r \mathcal{R}'_Y)} > 0.$$

Dans le cas d'un système de permis, la différentielle de DG par rapport à  $Y$ ,  $p$  et  $\hat{Z}$  donne

$$dY = -g'(A) d\hat{Z} + \zeta g'(\zeta Y - \hat{Z}) dY + (D'_Y + D'_r \mathcal{R}'_Y) dY + (D'_p + D'_r \mathcal{R}'_p) dp \quad (31)$$

et, à prix donné,

$$\frac{dY}{d\hat{Z}} = \frac{-g'(A)}{1 - (D'_Y + D'_r \mathcal{R}'_Y) - \zeta g'(\zeta Y - \hat{Z})} < 0,$$

un niveau plus bas de  $\hat{Z}$  impliquant une demande globale plus forte.

### Annexe 3

L'expression (19) et la condition (20) d'un impact positif de la politique climatique sur l'activité s'établissent comme suit. (26) permet d'exprimer la variation des prix en fonction de celle de la taxe et de l'activité:

$$dp = \frac{p}{1 - \gamma \mu^{-1} - \zeta \tau_z} d\tau_z + \frac{\eta_{W \cdot \ell} p}{1 - \gamma Y} dY. \quad (32)$$

En insérant cette expression dans (30), on obtient (19) après quelques manipulations élémentaires. Le terme désigné par  $\mathcal{M}_\tau$  est nécessairement positif et le signe de  $dY$  dépend donc de celui du second terme entre crochets. Il en découle la condition (20).

Le point b) de la proposition est une conséquence immédiate du Lemme 2.

### Annexe 4: Impact sur l'activité et l'emploi d'une réforme combinant durcissement de la politique climatique et baisse des cotisations sociales

*Dans le cas de la taxe*

La différentielle totale de la relation  $OG^T$  par rapport aux variables  $Y$ ,  $p$ ,  $\tau_z$  et  $\tau_\ell$  peut s'écrire comme suit:

$$\begin{aligned} (1 - \gamma) \frac{dp}{p} &= \left[ \frac{\zeta}{\mu^{-1} - \zeta \tau_z} d\tau_z + \frac{d\tau_\ell}{1 + \tau_\ell} \right] + \eta_{W \cdot \ell} \frac{dY}{Y} \\ &= \frac{1}{\mu^{-1} - \zeta \tau_z} \left[ \zeta d\tau_z + \frac{\omega}{q} d\tau_\ell \right] + \eta_{W \cdot \ell} \frac{dY}{Y} \end{aligned}$$

En insérant la valeur de  $dp$  qui en découle dans la différentielle de  $DG^T$  (voir (30)), on obtient après quelques manipulations,

$$dY = \mathcal{M}_\tau \cdot \left[ g'(A)A'(\tau_z)d\tau_z + \frac{D'_p + D'_r\mathcal{R}'_p}{1-\gamma} \frac{p}{\mu^{-1} - \zeta\tau_z} \left( \zeta\tau_z + \frac{\omega}{q} d\tau_\ell \right) \right] \quad (33)$$

L'activité économique sera stimulée par la réforme fiscale si l'expression entre crochets est positive (le premier terme de la somme est positif mais le second (entre parenthèses) peut être positif ou négatif). Cela sera le cas si la baisse des cotisations sociales est suffisamment forte pour que

$$d\tau_\ell \leq -\frac{\zeta q}{\omega} d\tau_z + \frac{1-\gamma}{-(D'_p + D'_r\mathcal{R}'_p)} \frac{\mu^{-1} - \zeta\tau_z}{p} g'(A)A'(\tau_z)d\tau_z.$$

Une condition suffisante est que la variation des cotisations sociales soit suffisamment négative pour que

$$d\tau_\ell \leq -\frac{\zeta q}{\omega} d\tau_z,$$

auquel cas le second terme de l'expression entre crochets dans (33) est lui-même positif (ou nul lorsque (21) tient). C'est la condition sous laquelle le salaire réel augmente.

*Dans le cas des permis*

La différentielle totale de la relation  $OG^P$  par rapport à  $Y$ ,  $p$ ,  $\hat{Z}$  et  $\tau_\ell$  s'écrit comme suit:

$$(1-\gamma)\frac{dp}{p} = \frac{1}{\mu^{-1} - \zeta g'(A)} \left[ -\zeta g''(A) d\hat{Z} + \frac{\omega}{q} d\tau_\ell \right] + \left[ \eta_{W \cdot \ell} + \frac{\zeta^2 g''(A)}{\mu^{-1} - \zeta g'(A)} \right] \frac{dY}{Y}.$$

En insérant la valeur de  $dp$  qu'implique cette expression dans (31), on obtient, après quelques manipulations élémentaires,

$$dY = \mathcal{M}_P \cdot \left[ -g'(A)d\hat{Z} + \frac{D'_p + D'_r\mathcal{R}'_p}{1-\gamma} \frac{1}{\mu^{-1} - \zeta g'(A)} \left( -\zeta g''(A)d\hat{Z} + \frac{\omega}{q} d\tau_\ell \right) \right] \quad (34)$$

où

$$\mathcal{M}_P = \left[ 1 - \zeta g'(A) + (D'_Y + D'_r\mathcal{R}'_Y) - \frac{D'_p + D'_r\mathcal{R}'_p}{1-\gamma} \left( \eta_{W \cdot \ell} + \frac{\zeta^2 g''(A)Y}{\mu^{-1} - \zeta g'(A)} \right) \frac{p}{Y} \right]^{-1} \geq 0. \quad (35)$$

L'activité économique sera stimulée si l'expression entre crochets dans (34) est positive (le premier terme de la somme est positif en cas de baisse de  $\hat{Z}$  mais le second (entre parenthèses) peut être positif ou négatif). Cela sera le cas si la baisse de cotisation sociale est suffisamment forte pour que

$$\frac{\omega}{q} d\tau_\ell \leq \zeta g''(A)d\hat{Z} + \frac{1-\gamma}{-(D'_p + D'_r\mathcal{R}'_p)} \frac{\mu^{-1} - \zeta g'(A)}{p} g'(A)d\hat{Z}.$$

Une condition suffisante est que la variation des cotisations sociales soit suffisamment négative pour que

$$d\tau_\ell \leq \frac{\zeta q}{\omega} g''(A)d\hat{Z}$$

auquel cas le second terme de l'expression entre crochets dans (34) est lui-même positif. On peut interpréter cette condition suffisante de la même manière que celle établie dans le cas de la taxe. A nouveau, elle est aussi une condition nécessaire dans le cas où  $\gamma$  vaut 1.

## Annexe 5: Effets multiplicateurs des chocs de demande selon l'instrument de la politique climatique

Dans le cas d'une taxe carbone, la différentiation de  $DG^T$  (ou (15)) par rapport à  $Y$ ,  $p$  et  $G$  ou  $r_0$  conduit à :

$$[1 - [D'_Y + D'_r R'_Y]] dY = d_0 Y + [D'_p + D'_r R'_p] dp \quad (36)$$

où  $d_0 Y$  représente le stimulus initial, soit  $d_0 Y = dG$  dans le cas d'une politique budgétaire, soit  $d_0 Y = D'_r dr_0$  dans le cas d'une politique monétaire, soit encore  $d_0 Y = dG + D'_r dr_0$  dans le cas d'un mixte des deux. En introduisant dans (36) l'expression de  $dp$  issue de la différentielle d' $OG^T$  (voir (24)), on obtient facilement que  $dY = M_\tau \cdot d_0 Y$  où l'expression du multiplicateur  $M_\tau$  a été donnée en (19).

Dans le cas de permis de pollution, la différentiation de  $DG^P$  (ou (16)) conduit à :

$$\left[1 - \zeta g'(\zeta Y - \widehat{Z}) - [D'_Y + D'_r R'_Y]\right] dY = d_0 Y + [D'_p + D'_r R'_p] dp$$

En introduisant dans cette expression la valeur de  $dp$  qu'implique (25), on obtient facilement que  $dY = M_P \cdot d_0 Y$  où  $M_P$  a été défini en (35).

La comparaison de  $M_T$  et  $M_P$  permet de déduire que  $M_T > M_P$  si et seulement si :

$$0 < -\zeta g'(\zeta Y - \widehat{Z}) - [D'_p + D'_r R'_p] \frac{1}{1 - \gamma} \frac{\zeta^2 g''(\zeta Y - \widehat{Z}) Y}{\frac{1}{\mu} - \zeta g'(\zeta Y - \widehat{Z})} \frac{p}{Y}$$

ce qui implique (23).