

**Nicolas PILUSO**

*Université de Toulouse III Paul Sabatier, CERTOP-CNRS*  
*Email : nicolas.piluso@iut-tlse3.fr*

**Clément RAU**

*Université de Toulouse III Paul Sabatier, Institut de Mathématiques de Toulouse.*  
*Email : clement.rau@iut-tlse3.fr*

## **Taxe carbone et stabilité de l'économie : pour un élargissement de la problématique du double dividende de la taxation écologique**

**Résumé :** Cet article développe un modèle keynésien de croissance en situation de concurrence parfaite dans lequel nous introduisons une taxation écologique. Nous montrons qu'il est possible de mettre en évidence un triple dividende de la taxation écologique. Ce triple dividende se caractérise par un effet écologique et deux possibles effets économiques : un éventuel effet positif sur l'emploi, et un effet de réduction de l'instabilité de l'économie. Nous élargissons donc la problématique du double dividende à travers la mise en lumière d'une implication de la taxation écologique peu étudiée dans la littérature.

**Mots Clés :** double-dividende, taxe carbone, croissance, instabilité, concurrence parfaite.

***Carbon tax and stability of the economy: for an extension of the problem of the double dividend of ecological taxation***

**Abstract:** This paper develops a Keynesian model of growth under perfect competition in which we introduce ecological taxation. We show that it is possible to highlight a triple dividend of ecological taxation. This triple dividend is characterized by an ecological effect and two possible economic effects: a possible positive effect on employment, and an effect of reducing the instability of the economy. We therefore extend the issue of the double dividend by highlighting the implication of ecological taxation that has been little studied in the literature.

**Keywords:** double-dividend, carbon tax, growth, instability, perfect competition.

**J.E.L Classification E12 - E60 - H32 - Q57.**

Received for publication: 20190129.

Final revision accepted for publication: 20190629.

## 1. Introduction

La problématique du double dividende renvoie à l'idée que l'instauration d'une taxe environnementale est susceptible de produire un bénéfice à la fois écologique et économique, à recettes budgétaires inchangées (hypothèse de neutralité budgétaire). Ekins (1997) dresse une typologie des avantages économiques que peut apporter la taxation écologique : un dividende emploi lorsque cette dernière permet de faire diminuer le chômage, un dividende d'efficacité lorsqu'elle permet de réduire les distorsions fiscales<sup>1</sup> (Goulder, 1994), ou encore un dividende social lorsque le processus de redistribution permet d'améliorer l'équité au sein de la communauté des agents économiques. D'une façon générale et à notre connaissance, la littérature théorique et empirique portant sur le double dividende se limite à l'analyse de ces trois de bénéfices (Chiroleu-Assouline, 2001). Goulder (1994) ajoute une autre typologie liée au degré de bénéfice apporté par la taxe environnementale : une version faible du double dividende (la taxe écologique permet de diminuer les coûts bruts de la fiscalité), une version intermédiaire (la taxe écologique fait disparaître les coûts de la fiscalité) et une version forte (la taxe écologique rend les coûts bruts de la fiscalité négatifs).

Les premiers modèles qui s'attachent à étudier l'occurrence d'un double dividende de la politique fiscale à fin environnementale ont pour cadre d'analyse la théorie de l'équilibre général, avec des hypothèses se rapprochant de la concurrence parfaite. On peut citer, comme l'ont fait Chiroleu-Assouline (2001), Bovenberg et Mooij (1994, 1997), Bovenberg et van der Ploeg (1996), Parry (1995) et Goulder (1995). Leurs résultats montrent qu'une taxe environnementale permet de résoudre un problème d'externalité lié à l'environnement tout en accroissant les distorsions fiscales, à tel point que l'instauration d'une telle taxe ne peut se justifier que si le bénéfice environnemental est de grande envergure.

Par ailleurs, à partir d'un niveau initial de taxation environnementale, toute décision publique amenant à son augmentation entraîne une baisse du niveau d'emploi et de la production. En réduisant le pouvoir d'achat des travailleurs, la taxe environnementale fait en effet décroître l'offre de travail. Comme le souligne Chiroleu-Assouline (2001), « le rôle essentiel joué dans les résultats obtenus par l'élasticité de l'offre de travail au pouvoir d'achat du salaire met l'accent sur des hypothèses essentielles de l'analyse en termes d'équilibre général menée par Bovenberg et de Mooij, à savoir la concurrence pure et parfaite et l'équilibre sur le marché du travail » (p. 13). Les travaux de Gilles Kaltenrieder (2005) qui a construit un modèle d'équilibre général appliqué à la Suisse confirme cette analyse : en se basant sur des hypothèses de concurrence parfaite, son

---

<sup>1</sup> La distorsion fiscale désigne l'écart entre le rendement d'une taxe et la perte d'utilité pour l'agent économique liée à l'instauration de cette taxe.

travail montre que l'occurrence d'un double dividende de la taxation écologique en termes d'emploi est nulle. De la même façon, l'article d'Al Amin Siwar et Hamid (2009), qui présente un modèle d'équilibre général calculable, ne permet pas de mettre en évidence ce double bénéfice.

En se déplaçant vers un cadre de concurrence imparfaite, la possibilité de double dividende apparaît. C'est par exemple le cas lorsqu'on suppose que le salaire réel reste fixé à un niveau excessif qui engendre du chômage. La mise en place d'une taxation écologique sur le facteur de production « énergie » engendre alors, comme le montrent Bovenberg et van der Ploeg (1996), une substitution du travail à l'énergie si le travail est un meilleur substitut à l'énergie que le capital.

*Dans un modèle de concurrence sans fixité des prix*, une telle taxe engendre une baisse de la production en lieu et place d'une augmentation de la demande de travail. *Dans un modèle avec salaire réel endogène d'efficience* (Schneider, 1997), la taxation écologique a un effet favorable sur l'emploi si elle permet en contrepartie d'alléger les charges sociales sur le travail ; elle permet alors aux entreprises de diminuer le salaire offert sans perte d'effort et de productivité de la part des travailleurs, d'où une augmentation du niveau d'emploi. *Dans les modèles où le salaire réel résultat de négociations salariales* (Brunello, 1996), la taxation écologique détériore le pouvoir d'achat des salariés comme des chômeurs mais les salariés bénéficient d'un allègement des charges sociales sur leur salaire, ce qui permet d'améliorer l'emploi. Le double dividende résulte ici d'un transfert de charge fiscale des travailleurs vers les chômeurs.

Marsiliani et Renstron (1997) ainsi que Holmlund et Kolm (1997) démontrent que le second dividende (le dividende de type économique) est d'autant plus important que le marché est peu concurrentiel. De la même façon, Boitier et al. (2015, p.4) affirment que « la flexibilité du marché du travail apparaît ainsi cruciale pour le partage, au sein de la population, des effets d'une hausse du prix de l'énergie et pour l'efficacité du recyclage des montants d'une éventuelle taxe sur l'énergie ». Les premières estimations empiriques de modèles néo-keynésiens ont confirmé l'idée d'un double dividende emploi des éco-taxes lorsqu'elles sont utilisées pour réduire le coût du travail (Godard et Beaumais, 1994 ; DGII-CEC, 1992 ; Barker *et al.*, 1993).

Plus récemment, Collonnec, Reynes et Tamsamani (2012) ont évalué l'impact de la taxe carbone dans un modèle néo-keynésien caractérisé par une viscosité d'ajustement des prix et des quantités, et concluent à une amélioration de la situation macroéconomique (croissance, emploi, déficit public) liée à la taxation écologique. Il en va de même pour Chiroleu-Assouline et Fodha (2011). Hourcade et Ghersi (2000) raisonnent dans un modèle d'équilibre général calculable dans lequel il existe du sous-emploi et révèlent l'occurrence d'un double dividende d'une importance modeste sur l'emploi et la

consommation. Enfin, Crassous et *al.* (2009) utilisent un modèle d'équilibre général statique avec concurrence imparfaite, notamment sur le marché du travail, pour tester l'effet macroéconomique de la mise en place d'une taxe carbone en fonction de diverses modalités de recyclage. Le gain macroéconomique apparaît maximum (en termes de croissance économique) dans le cas d'une substitution aux cotisations sociales pesant sur les salaires.

En élargissant l'analyse des taxes environnementales à l'étude de leur impact macroéconomique global, on retrouve souvent la même dichotomie concurrence parfaite/ concurrence imparfaite. Dans le modèle théorique Offre/Demande Globales de Fagnard et Germain (2014) par exemple, l'impact conjoncturel de la taxe carbone est d'autant plus négatif que les prix sont flexibles et que les marchés du bien et du travail se rapprochent d'une situation de concurrence parfaite. A l'inverse, le modèle stocks-flux cohérent post-keynésien de Girau et al. (2017), fort éloigné du modèle de concurrence parfaite, montre que la dynamique d'endettement des firmes ne peut s'arrêter qui si une taxe carbone telle qu'elle annule les émissions nettes de CO<sub>2</sub> d'ici 2040 est mise en place.

Notre article s'inscrit dans la problématique du double dividende en ayant l'objectif de mettre en évidence que ce double dividende de la taxation écologique s'étend à d'autres champs que ceux retenus traditionnellement (emploi, distorsions fiscales ou redistribution) en analysant son rôle dans la stabilisation de l'économie. Nous montrerons par la même occasion que le cadre de concurrence parfaite n'est pas un obstacle à la mise en évidence d'un possible double dividende des écotaxes.

L'exercice auquel nous nous livrons suit la ligne directrice de l'article de Piluso et Le Heron (2017) : montrer dans un cadre keynésien avec chômage keynésien et concurrence parfaite que la taxation écologique peut apporter des bénéfices économiques qui s'ajoutent à l'amélioration de la qualité de l'environnement. Comment concilier l'hypothèse de concurrence parfaite avec le cadre d'analyse keynésien ? Nous utiliserons les enseignements des modèles de Glustoff (1968) et Cartelier (1996, 1995) qui démontrent la possibilité d'existence d'équilibres de chômage involontaire en situation de concurrence parfaite. Contrairement aux modèles de Glustoff (1968), Cartelier (1996) et Piluso (2017) cependant, notre modèle est dynamique car nous cherchons à analyser une propriété peu étudiée de la taxe carbone, à savoir son rôle de stabilisateur de conjoncture.

Dans la deuxième section, nous présentons le résultat fondamental de Glustoff et Cartelier que nous allons utiliser. Dans la troisième section, nous présentons un modèle keynésien de croissance inédit dans le cadre duquel est introduite une taxe carbone. Nous répondrons à la question de savoir si dans un cadre de concurrence parfaite, un

double dividende emploi est à exclure ou non. Dans la quatrième section, nous étudions la dynamique de l'économie et le rôle que peut jouer la taxe carbone en la matière.

## **2. L'hypothèse de type keynésienne du modèle de Glustoff-Cartelier : l'asymétrie du rapport salarial**

Glustoff et Cartelier reprennent à leur compte le rejet par Keynes du second postulat classique, en vertu duquel les salariés égalisent leur désutilité marginale au salaire réel. Une telle réfutation signifie selon eux que les salariés n'ont pas la possibilité d'influencer le niveau d'emploi (la courbe d'offre de travail est « désactivée ») et que seuls les entrepreneurs sont dans la capacité de décider de son niveau. Ainsi, si le salaire réel est supérieur au salaire d'équilibre sur le marché du travail, la demande de travail des entreprises se substitue à l'offre de travail dans la contrainte budgétaire du salarié. En conséquence, la loi de Walras est restreinte : le marché du travail en est exclu (Cartelier, 1996, Piluso, 2011). Tous les prix sont supposés flexibles sauf le salaire nominal. Par conséquent, dans la plupart des cas, tous les marchés s'équilibreront sauf celui du travail.

Ces équilibres sont durables car le marché des biens et le marché financier étant en équilibres, le prix du bien et le taux d'intérêt n'ont pas de raison de varier. Le marché du travail étant exclu de la loi de Walras, il ne perturbe pas l'équilibre des autres marchés même s'il est déséquilibré. Ce modèle conduit à expurger de l'analyse du chômage la traditionnelle problématique des rigidités réelles puisque tous les prix sont flexibles sauf le salaire nominal. On pourrait alors rétorquer que cette rigidité nominale du salaire est la cause du chômage involontaire. Il est alors nécessaire de rappeler que dans un modèle d'équilibre général standard, la rigidité nominale d'un prix n'empêche nullement l'apurement du marché. Si par exemple le marché du travail présente un salaire réel excessif avec un salaire nominal fixe, l'ajustement se réalise via le prix du bien. Par ailleurs, dans le modèle de Glustoff et Cartelier, la baisse du salaire nominal ne résorbe pas forcément le chômage involontaire : son impact sur l'efficacité marginale du capital étant incertain, une baisse du salaire nominal peut tout à fait conduire les entreprises à réduire le niveau de l'investissement et de l'emploi (Cartelier, 1995, Piluso, 2007). Nous introduisons dans la prochaine section des éléments de dynamique dans le modèle de Cartelier/Glustoff<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Cartelier (2018) a présenté les traits caractéristiques de la dynamique de l'économie de Keynes.

### **3. Un modèle keynésien de croissance économique avec changement climatique et taxe carbone : l'état stable de chômage involontaire**

Nous prenons pour point de départ une fonction de production par tête Cobb-Douglas en tout point identique à celle du modèle de Solow :

$$q = k^{1-c} \quad (1)$$

avec  $q$  le produit par tête réalisé grâce à la combinaison productive,  $k$  le capital par tête et  $c$  l'élasticité de production. Nous appelons  $n$  le taux de croissance de l'offre de travail. La croissance du produit peut alors s'écrire :

$$g = (1 - c)g_K + cn \quad (2)$$

avec  $g$  le taux de croissance du produit et  $g_K$  le taux de croissance du capital productif.

La demande de travail des entreprises suit la fonction suivante :

$$N^d = \frac{cQ}{w/p} \quad (2')$$

avec  $w/p$  le taux de salaire réel. La dynamique de la demande de travail est donc :

$$g_N = g - g_{w/p} \quad (2'')$$

La propension à consommer des salariés est notée  $(1-s)$ . Leur épargne est intégralement investie sous forme de titres  $B_w(t)$ <sup>3</sup>. Dans la théorie néoclassique, la contrainte budgétaire des salariés est (voir Cartelier, 1995) :

$$\frac{w}{p}(t)N(t) = C(t) + \frac{B_w(t)}{r(t)} \quad (3)$$

avec  $\frac{w}{p}(t)$  le taux de salaire réel au temps  $t$ ,  $N(t)$  l'offre de travail des salariés au temps  $t$  et  $C(t)$  la consommation des salariés au temps  $t$ .  $r(t)$  est le taux d'intérêt. La propension à consommer des salariés et donc le partage du revenu entre consommation et épargne sont déterminés par le taux d'intérêt  $r(t)$ .

La contrainte budgétaire des entrepreneurs s'écrit :

<sup>3</sup> Un titre est défini par un droit à une unité de bien à toutes les périodes suivantes. Son prix nominal est donné par  $p/r(t)$ .

$$\begin{aligned} & [Q^s(t) - f_{(t)}\alpha_{(t)}(T(t))Q^s(t)] - \left[\frac{w}{p}(t)N_d(t)\right] - [\alpha_{(t)}(T(t))Q^s(t)T(t)] + \\ & \left[\frac{B_e(t)}{r(t)}\right] = I(t) \equiv \dot{K}(t) + \theta K(t) \end{aligned} \quad (4)$$

$Q^s(t)$  est l'offre globale réelle du bien à la période t. La fonction  $f_{(t)}\alpha_{(t)}(T(t))Q^s(t)$  représente les coûts réels supportés par la firme et directement liés au changement climatique. Il s'agit d'une fonction de dommages qui vient amputer l'output produit par la firme (voir annexe) avant que ce dernier puisse être offert sur le marché.  $\alpha_{(t)}(T)Q^s(t)$  est un indicateur de l'empreinte carbone du processus de production. La fonction  $\alpha_{(t)}(T(t))$  sert à mesurer l'empreinte carbone par unité produite de bien. Elle est fonction décroissante de la taxation écologique  $T$ : plus le niveau de taxation est élevé, plus la firme fait en sorte de réduire l'empreinte carbone du processus de production grâce à l'accumulation d'un capital plus « vert »<sup>4</sup>. L'expression  $\alpha_{(t)}(T)Q^s(t)$  est l'empreinte carbone liée à la production totale de la firme (l'empreinte unitaire multipliée par la quantité produite de bien).  $N_d(t)$  est la demande de travail de la firme représentative. L'expression  $\alpha_{(t)}(T(t))Q^s(t)T(t)$  représente le prélèvement fiscal écologique. Ce prélèvement fiscal est le produit de l'empreinte carbone totale  $\alpha_{(t)}(T(t))Q^s(t)$  et de la taxe  $T(t) \cdot \frac{B_e(t)}{r(t)}$  est la demande de titres de la firme pour financer l'investissement (aux côtés de l'autofinancement). Cette demande de titres représente l'emprunt de la firme et constitue donc une ressource additionnelle pour l'entreprise.

Il existe plusieurs spécifications des coûts de production liés au changement climatique (et donc à l'émission de gaz à effet de serre): on trouve dans la littérature des fonctions de dommages affectant uniquement l'output (Dietz et Stern, 2015)), des fonctions de dommages affectant le capital et l'output (Dafermos, 2016), ou encore celles affectant la productivité du travail et du capital (Burke et al., 2015). Dans notre modèle, le coût du changement climatique est représenté par la fonction de dommages  $f_{(t)}$ . Cette fonction dépend de l'ampleur de l'empreinte carbone mesurée par  $\alpha_{(t)}(T(t))Q^s(t)$ <sup>5</sup>. Ce dommage climatique diminue directement l'offre de produit comme dans la modélisation de Dietz et Stern (2015). Cela signifie qu'une certaine quantité de bien est produite mais directement détruite par le changement climatique. C'est ce qu'indique

<sup>4</sup> Dans la théorie microéconomique, le choix optimal de dépollution de la firme est donné par l'égalité entre le coût marginal de dépollution et le gain marginal à le consentir mesuré par la taxe carbone  $T$ . Cela aboutit au résultat suivant : plus la taxe carbone est élevée, plus la firme consent jusqu'à un certain point à limiter les émissions de gaz à effet de serre grâce à l'acquisition d'un capital moins polluant (voir Fagnard et Germain, 2014).

<sup>5</sup> Voir annexe.

l'expression  $[Q^s(t) - f_{(t)}\alpha_{(t)}(T(t))Q^s(t)]$ . Le produit à répartir entre salaires et profit diminue en conséquence.

L'expression  $[Q^s(t) - f_{(t)}\alpha_{(t)}(T(t))Q^s(t)] - [\frac{w}{p}(t)N_d(t)] - [\alpha_{(t)}(T(t))Q^s(t)T(t)]$

représente ainsi l'output (la recette de la firme) auquel est retranché le coût lié au changement climatique, le coût salarial et la taxe carbone. Il s'agit du profit. L'emprunt représenté par la demande de titres s'ajoute au profit pour financer l'investissement productif. La partie gauche de l'équation (4) représente donc l'ensemble des ressources de la firme (profit net+emprunt).

En somme, l'investissement brut de la firme  $I(t)$  est financé d'une part par l'emprunt et d'autre part par le profit, ce dernier étant diminué par la taxation écologique et les coûts liés au changement climatique. L'investissement dont il est question comprend la dépense d'amortissement liée au taux de dépréciation du capital  $\theta$ .

On suppose que le bien qui est produit par la firme peut servir à l'accumulation du capital, à la consommation des ménages, ou encore au fonctionnement de l'Etat. On suppose que l'éco-taxe prélevée sur le profit de la firme sert au financement d'une dépense publique notée  $V(t)$ .

Le budget de l'Etat est supposé équilibré. Ainsi, la contrainte budgétaire de l'Etat s'écrit :

$$\alpha_{(t)}(T(t))Q^s(t)T(t) = V(t) \quad (5)$$

Vérifions que la somme des contraintes budgétaires aboutit à la loi de Walras :

$$[C(t) + V(t) + \dot{K}(t) + \theta K(t) + f_{(t)}\alpha_{(t)}(T(t))Q^s(t) - Q^s(t)] + \frac{w}{p}(t)[N^d(t) - N(t)] + \frac{1}{r(t)}[B_w(t) - B_e(t)] = 0 \quad (6)$$

D'après cette loi de Walras, le marché du travail ne peut pas être en déséquilibre de façon isolée. Le chômage involontaire d'équilibre est exclu.

Le refus du « second postulat classique » keynésien se traduit formellement par l'idée que la demande de travail des entreprises se substitue à l'offre de travail dans la contrainte budgétaire du salarié lorsque le salaire réel est supérieur à son niveau d'équilibre concurrentiel :

$$\frac{w}{p}(t)N^d(t) = C(t) + \frac{B_w(t)}{r(t)} \quad (3'')$$

La loi de Walras est ainsi modifiée. Pour un salaire réel supérieur à sa valeur qui équilibre le marché du travail, on a :

$$\begin{aligned} & [C(t) + V(t) + \dot{K}(t) + \theta K(t) + f_{(t)}\alpha_{(t)}(T(t))Q^s(t) - Q^s(t)] \\ & + \frac{1}{r(t)}[B_w(t) - B_e(t)] = 0 \end{aligned} \quad (6')$$

Cette loi de Walras restreinte permet que le déséquilibre du marché du travail soit assorti d'un équilibre de tous les autres marchés. En vertu du corollaire de la loi de Walras, il nous est possible de négliger le marché des titres pour ne nous intéresser qu'à l'équilibre du marché des biens. Ce dernier s'écrit :

$$\left(\frac{Q^s(t) - f_{(t)}\alpha_{(t)}(T(t))Q^s(t)}{K}\right)c(1-s) + \frac{\dot{K}}{K} + \frac{V}{K} + \theta = \left(\frac{Q^s(t) - f_{(t)}\alpha_{(t)}(T(t))Q^s(t)}{K}\right) \quad (7)$$

Appelons  $X = Q^s(t) - f_{(t)}\alpha_{(t)}(T(t))Q^s(t)$ . Il s'agit de l'output diminué du coût lié au changement climatique. Lorsque l'expression X est multipliée par le facteur  $c$  qui est un paramètre de la fonction de production exposée dans l'équation (1), on obtient la partie de l'output (net du coût du changement climatique) qui revient aux salariés, autrement dit la masse salariale. La dépense de consommation est donc obtenue par le produit de la masse salariale  $cX$  et de la propension marginale à consommer ( $1-s$ ),  $s$  étant la propension marginale à épargner.

La demande de bien comprend donc :

- la dépense de consommation des salariés (qui dépend de la partie du produit net et de la propension à consommer), soit  $\left(\frac{Q^s(t) - f_{(t)}\alpha_{(t)}(T(t))Q^s(t)}{K}\right)c(1-s)$ ;
- la dépense d'investissement net, soit  $\frac{\dot{K}}{K}$ ;
- la dépense publique  $\frac{V}{K}$ ;
- la dépense d'amortissement  $\theta$ .

L'offre de bien quant à elle est donnée par la fonction de production  $Q^s(t)$ . Une partie de cette offre est détruite par le changement climatique pour un montant donné par l'expression  $f_{(t)}\alpha_{(t)}(T(t))Q^s(t)$ .

Appelons  $Q''(t)$  l'offre réelle de biens nette du coût du changement climatique. On peut donc réécrire la condition d'équilibre du marché des biens de la façon suivante :

$$\frac{Q^n(t)}{K} c(1-s) + \frac{\dot{K}}{K} + \frac{V}{K} + \theta = \frac{Q^n(t)}{K} \quad (7')$$

Ce qui équivaut à écrire :

$$\frac{c(1-s)}{v(T)} + \frac{\dot{K}}{K} + \frac{\alpha(T)T}{v} + \theta = \frac{1}{v(T)} \quad (7'')$$

Le coefficient de capital  $v(T)$  net des coûts du changement climatique dépend donc du niveau taxe écologique  $T$ . Le coefficient de capital  $v$  quant à lui est simplement égal à  $K/Q^s(t)$ . L'accumulation du capital compatible avec l'équilibre du marché du bien est donc :

$$g_K = \frac{1-c(1-s)}{v(T)} - \frac{\alpha(T)T}{v} - \theta \quad (8)$$

La condition d'état stable (avec une constance du capital par tête  $k$  et du coefficient de capital  $v$ ) implique que le taux de variation du capital accumulé soit égal au taux de variation de la demande de travail :

$$g_K = g_N = g - g_{w/p} \quad (9)$$

Si le marché du bien est équilibré, le prix du bien  $p$  ne varie plus. D'après le corollaire de la loi de Walras, le marché de l'épargne est équilibré dès lors que l'offre est égale à la demande sur le marché du bien. En conséquence, le taux d'intérêt  $r(t)$  ne varie pas non plus. Comme le salaire nominal est exogène, conformément au modèle de Cartelier, le taux de variation du salaire réel est nul. On a donc :

$$g_K = g_N = g = \frac{1-(1-s)c}{v(T)} - \frac{\alpha(T)T}{v} - \theta \leq n \quad (10)$$

Il est ainsi tout à fait possible qu'un état stable avec chômage involontaire noté  $u = n - g_K$  existe. Comme l'indique Cartelier (2018), il s'agit même du cas général, la configuration de plein-emploi néoclassique étant un cas particulier.

Dans le modèle de Solow, la croissance équilibrée se maintient au cours du temps même lorsque le taux de croissance démographique se modifie. Le capital par tête d'équilibre, correspondant à un certain coefficient de capital  $v$ , se modifie grâce à la flexibilité des prix pour assurer l'équilibre des marchés. Dans notre modèle « à la Keynes », l'économie ne s'adapte pas au taux de croissance de l'offre de travail car celle-ci a un statut de subordonné. L'économie s'adapte aux changements du taux d'accumulation du capital  $g_K$  (auquel correspond un certain coefficient de capital  $v$ ) qui est exogène en raison des « esprits animaux » régnant dans un contexte d'incertitude. Comme l'écrit

Cartelier (2005) dans son cours polycopié de Macroéconomie, « ce qui oppose Keynes à l'économie néoclassique n'est pas l'adjonction de rigidités quelconques, ni dans les prix, ni dans le salaire, ni dans la combinaison productive, mais bien plutôt dans le traitement des salariés qui se lit dans les différentes contraintes budgétaires auxquelles ils sont soumis. Alors que la théorie standard voit l'évolution dynamique comme une réponse (optimale) aux changements dans les fondamentaux exogènes, l'économie de Keynes la conçoit que procédant de l'accumulation du capital, reflétant l'action des entrepreneurs comme groupe social dominant » (*ibid*, p. 101).

Dans notre modèle, le prix du bien, de même que le taux d'intérêt, sont parfaitement flexibles. Nous ne faisons aucune hypothèse de complémentarité des facteurs de production (ils sont ici substituables comme dans le modèle de Solow), ni de fixité de la propension à épargner (qui est endogène et dépend du taux d'intérêt). « En plaçant l'accumulation du capital au centre même du processus de croissance, et non l'adaptation optimale d'un système en équilibre à des chocs exogènes, l'économie de Keynes renoue avec la tradition classique de Smith et Ricardo, pour qui également les salariés occupaient une position subordonnée » (Cartelier, 2005, p. 101).

La question qui se pose à présent est de savoir si l'introduction d'une taxe carbone en lieu et place d'une taxe « classique » permet l'obtention non seulement d'un bénéfice écologique, mais aussi d'un bénéfice en termes d'emploi lorsque l'économie est en situation d'état stable.

Dans notre modèle, une réponse concise (positive ou négative) est difficile à émettre puisque pour le moment, notre taux de croissance du capital est exogène ; *il est par contre impossible d'exclure l'occurrence d'un double dividende en dépit d'un cadre analytique de concurrence parfaite*. Quels sont les effets de la substitution d'une taxe « classique » par une taxe carbone ? L'introduction d'une taxe carbone permet de limiter l'impact du changement climatique sur l'output, ce qui autorise la firme à dégager de l'autofinancement pour l'investissement. L'impact d'un accroissement du profit sur l'investissement est incertain puisque les « esprits animaux » keynésiens (et donc implicitement, l'efficacité marginale du capital) gouvernent la décision d'investir. Cependant, on ne peut pas exclure l'éventualité d'un effet positif sur l'emploi comme c'est le cas habituellement dans les modèles de type néoclassique avec concurrence parfaite. Le présent modèle ne permet cependant pas de fournir une réponse définitive à cette question.

#### 4. Instabilité intrinsèque de l'économie keynésienne et taxe carbone

Pour étudier la dynamique de l'économie, supposons à présent que le taux d'accumulation du capital  $g_K$  dépend positivement de l'écart entre le taux de profit réalisé et le taux de profit anticipé.

Avec la fonction Cobb-Douglas que nous avons mentionnée plus haut, le taux de profit attendu ou anticipé est :

$$r^a = \frac{(1-c)(Q-f_{(t)}\alpha_{(t)}(T)Q)}{K} - \frac{\alpha_{(t)}(T)Q^s T(t)}{K} \quad (11)$$

que l'on peut réécrire de la façon suivante :

$$r^a = \frac{1-c}{v(T)} - \frac{\alpha_{(t)}(T)T}{v} \quad (12)$$

Par conséquent, le profit attendu est égal à la part du produit (net des coûts du changement climatique) qui n'est pas distribué sous forme de salaires, à laquelle on retranche le prélèvement fiscal à des fins environnementales.

Le taux de profit réalisé peut s'écrire quant à lui :

$$r = \frac{\dot{K}}{K} + \theta + \frac{V}{K} + (1-s)c\left(\frac{Q - f\alpha(T)Q}{K}\right) - c\left(\frac{Q - f\alpha(T)Q}{K}\right) - \frac{\alpha_{(t)}(T)QT}{K}$$

d'où :

$$r = g_K + \theta + \frac{c((1-s)-1)}{v(T)} \quad (13)$$

$$\text{car } \frac{\alpha_{(t)}(T)QT}{K} = \frac{V}{K}.$$

Autrement dit, le profit réalisé est égal à la somme des recettes réalisées par les entrepreneurs (l'investissement brut, auquel s'ajoutent la consommation et la dépense publique) à laquelle est retranchée la somme des coûts (le produit net des coûts du changement climatique distribué sous forme de salaires et le prélèvement fiscal écologique).

L'écart entre le taux de profit réalisé et le taux de profit attendu est égal à :

$$r - r^a = g_K + \theta + \frac{c((1-s)-1)}{v(T)} - \frac{1-c}{v(T)} + \frac{\alpha_{(t)}(T)T}{v} \quad (14)$$

L'expression peut être arrangée de la façon suivante :

$$r - r^a = g_K + \theta + \frac{c(1-s)-1}{v(T)} + \frac{\alpha_{(t)}(T)T}{v} \quad (15)$$

L'évolution du taux d'accumulation du capital est donnée par l'équation différentielle qui suit :

$$\dot{g}_K(t) = \lambda(r(t) - r^a(t)) = \lambda(g_K + \theta + \frac{c(1-s)-1}{v(T)} + \frac{\alpha_{(t)}(T)T}{v})$$

La solution est donnée par l'expression :

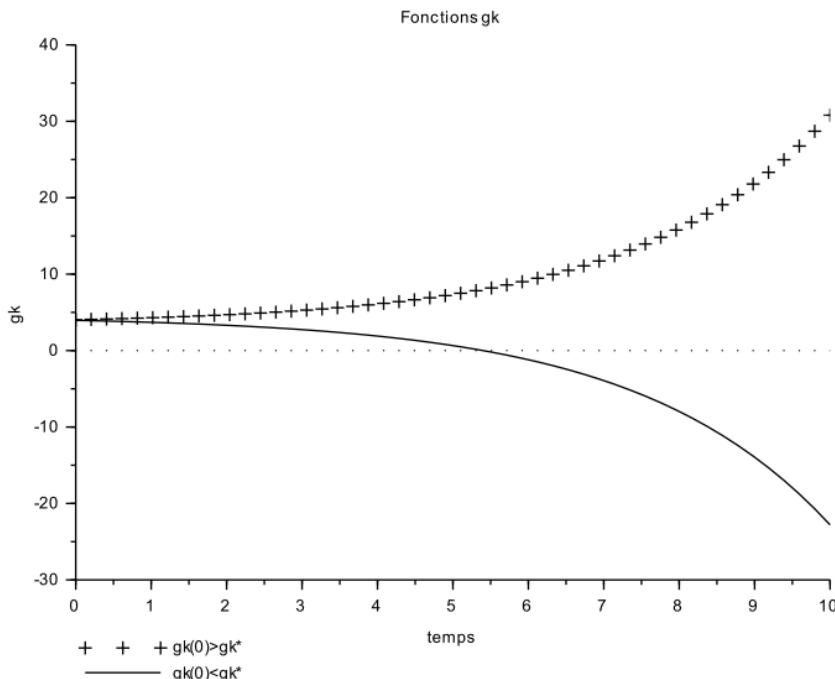
$$g_K(t) = g_K(0)e^{\lambda t} + (\theta + \frac{c(1-s)-1}{v(T)}) + \frac{\alpha_{(t)}(T)T}{v}(e^{\lambda t} - 1) \quad (16)$$

Appelons  $g_K^* = \frac{1-(1-s)c}{v(T)} - \frac{\alpha(T)T}{v} - \theta$  l'état stable de l'économie. Il est alors possible de reformuler (15) :

$$g_K(t) = e^{\lambda t}(g_K(0)) + g_K^* \quad (16')$$

Un écart initial par rapport au sentier d'équilibre est amplifié au cours du temps, ce qui correspond au résultat de « fil du rasoir » de Harrod. L'économie keynésienne est intrinsèquement instable.

**Graphique 1. L'instabilité de la croissance économique**



Cependant, la taxe carbone, seule variable discrétionnaire du modèle, offre à l'Etat un outil de stabilisation de l'économie qui passe par un triple canal :

- le canal du prélèvement fiscal traditionnel  $T$ , qui ampute les profits mais génère une demande publique de bien (sous l'hypothèse de budget équilibré);
- le canal de l'empreinte carbone  $\alpha_{(t)}(T)$ , qui est plus ou moins forte selon le niveau de la taxe ;
- le canal de la fonction de dommage  $f$  lié au changement climatique (impact sur  $v(T)$ ), qui grève l'output, et qui est également plus ou moins conséquent selon le niveau de la taxe.

Dans une économie caractérisée par l'instabilité, la taxe carbone offre ainsi un double dividende : un bénéfice écologique (l'empreinte carbone est toujours plus faible avec l'existence d'une taxe carbone en lieu et place d'une taxe traditionnelle) et un bénéfice économique (réduction de l'instabilité économique). A notre connaissance, la littérature économique (théorique ou empirique) n'a pas véritablement envisagé un double dividende d'une telle nature dans un cadre théorique relativement « standard ». *L'eco-taxe offre un outil de stabilisation de l'économie en enrichissant les canaux de transmission de la fiscalité traditionnelle sur la longue période.* Si l'on fait l'hypothèse que l'augmentation de la taxe carbone entraîne un accroissement des recettes fiscales et donc de la demande publique de bien, alors la fiscalité écologique est théoriquement plus efficace que l'outil de la fiscalité traditionnelle. En effet, en permettant la réduction de l'empreinte carbone, la fiscalité écologique minimise l'impact négatif du changement climatique sur l'output en plus de moduler la demande globale adressée aux firmes.

## 5. Conclusion

Alors qu'habituellement, rendre compte théoriquement de l'existence d'un double dividende impose soit de raisonner dans un modèle de concurrence imparfaite avec divers types de rigidités sur les prix, soit d'adopter des modèles post-keynésiens de type stock-flux, nous avons tenté de montrer avec un modèle en concurrence parfaite qu'il est possible de mettre en évidence la possibilité d'un triple dividende de l'éco-taxe: un bénéfice écologique (réduction de l'empreinte carbone), et deux bénéfices économiques : un éventuel effet bénéfique sur le chômage et une canalisation de l'instabilité économique propre à la vision keynésienne de l'économie. Jusqu'à présent, la littérature s'est essentiellement focalisée sur les bénéfices économiques à court terme de la taxation écologique en termes d'emploi, de gain de croissance du PIB, de fiscalité ou d'équité sociale. Les résultats du modèle montrent qu'il ne faut pas ignorer qu'à long terme, la taxation écologique enrichit les leviers de la fiscalité traditionnelle pour contrôler et stabiliser la dynamique de croissance.

## 6. Bibliographie

- Al Amin Siwar, C., et A Hamid, 2009, « Computable General Equilibrium Techniques for Carbon Tax Modeling », *American Journal of Environmental Sciences*, 5 (3), pp. 56-88.
- Barker T., Baylis S., Mdsen P., 1993, « A UK carbon Energy tax. The macroeconomic effects, *Energy policy* 31(3), 296-308.
- Boitier B., Callonnet G., Douillard P., Epaulard A., Ghersi F., Masson E., Mathy S., (2015) « La transition énergétique vue par les modèles macroéconomiques », *Document de travail France Stratégie n°2015-05*, octobre.
- Bovenberg A.L., de Mooij R.A, 1994, « Environmental Levies and Distortionary Taxation », *American Economic Review*, 84, n° 4, 1085-1089.
- Bovenberg A.L., de Mooij R.A., 1997, « Environmental Levies and Distortionary Taxation : Reply » , *American Economic Review*, 87, n° 1, 252-253.
- Bovenberg A.L., van der Ploeg F., 1996, « Optimal Taxation, Public Goods and Environmental Policy with Unvoluntary Unemployment », *Journal of Public Economics*, 62, 52-83.
- Brunello G., 1996, « Labor Market Institutions and the Double Dividend Hypothesis: An Application of the WARM Model », in Carraro C., Siniscalco D., *Environmental Fiscal Reform and Unemployment*, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- Burke M., Hsiang S., and Miguel E., 2015, « Global non-linear effect of temperature on economic production », *Nature*, 39, 525-555.
- Cartelier J., 2018, *Money, markets and capital: the case for a monetary analysis*, Routledge, New York.
- Cartelier, J., 1995, L'économie de Keynes, De Boeck Université, Paris.
- Cartelier J., 1996, « Chômage involontaire d'équilibre : Asymétrie entre salariés et non salariés, la loi de Walras restreinte », *Revue Economique*, 655-666.
- Cartelier J., 2005, Cours Polycopié de Macroéconomie, Université Paris X Nanterre. 116 pages.
- Cartelier J. 2018, “Money, Markets and Capital: The Case for a Monetary Analysis”, Routledge International Studies in Money and Banking, 1st Edition

- Collonc G., Reynes F. et Tamsamani Y, 2012, « Une évaluation macroéconomique et sectorielle de la fiscalité carbone en France », *Revue de l'OFCE*, 212-154.
- Chiroleu-Assouline M. et M.Fodha, 2011, « Verdissement de la fiscalité : à qui profite le double dividende ? », *Revue de l'OFCE*, n° 116, 409-432.
- Chiroleu-Assouline, 2001, « Le double dividende : les approches théoriques », *Revue française d'économie*, n°2, 119-147.
- Crassous R., Ghersi F., Combet E., Quirion Ph., 2009, « Taxe carbone : recyclage des recettes et double dividende sous contrainte d'équité », *Note de travail*, CIRED.
- Dafermos Y., Nikolaidi M., and Galanis G., 2017, « A stockflow-fund ecological macroeconomic model », *Ecological Economics*, 13, 191-207, 2017.
- Dietz S. and Stern N., 2015, « Endogenous growth, convexity of damage and climate risk: How Nordhaus' framework supports deep cuts in carbon emissions », *The Economic Journal*, 125(583):574–620.
- DGII-CEC (1992), « the economics of limiting CO<sub>2</sub> emissions, Special Edition of european economy, Commission of the European Communities, Office of Official Publications, Luxembourg.
- Ekins P., 1997, « On The Dividends from Environmental Taxation », in *Riordan T., Ecotaxation, Earthscan Publications*, 50-67.
- Fagnard, J-F., Germain, M., 2014, « Macroéconomie du court terme et politique climatique : quelques leçons d'un modèle d'offre et demande globales », *Recherches économiques de Louvain*, 1(80), 31-60.
- Giraud G., Isaac F., Bovari E., Zatsepina E., 2017, « Coping with the Collapse : A Stock-Flow Consistent Monetary Macrodynamics of global warming », *Papiers de recherche de L'AFD*, 29bis, Janvier.
- Glustoff E., 1968, « On the existence of a Keynesian Equilibrium », *Review of Economic Studies*, 35, 327-334.
- Godard O, Beaumais O., 1994, Economie, croissance et environnement, de nouvelles stratégies pour de nouvelles relations », *Revue Economique*, 44, 143-176.
- Goulder L.H., 1994, « Environmental Taxation and the "Double Dividend : A Reader's Guide », *NBER Working Paper*, n°4896

- Goulder L.H., 1995, « Effects of Carbon Taxes in an Economy with Prior Tax Distortions: An Intertemporal General Equilibrium Analysis », *Journal of Environmental Economics and Management*, 29, 271-297.
- Hourcade J.C, Ghersi F., 2000, « Le rôle du changement technique dans le double dividende d'écotaxes », *Economie et Prévision*, 143-144, 47-68.
- Holmlund B, Kolm A.S., 1997, « Environmental Tax Reform in a Small Open Economy With Structural Unemployment », *Working Paper*, Department of Economics, Uppsala University.
- Kaltenrieder G., 2005, « Double dividende et mobilité du capital : un modèle d'équilibre général appliqué à la Suisse », *Working Paper*, Université de Fribourg, Suisse.
- Marsiliani L., Renström T., 1997, « Imperfect Competition, Labour Market Distortions and the Double Dividend Hypothesis », *Discussion Paper*, University of Birmingham.
- Parry I.W.H., 1995, « Pollution Taxes and Revenue Recycling », *Journal of Environmental Economics and Management*, 29, n° 3, pp. S64-S7.
- Piluso N., Le Heron E., 2017, « La taxe carbone dans une économie d'inspiration keynésienne », *Développement durable et territoires*, 8(3), décembre.
- Piluso N., 2011, « Chômage involontaire et rationnement du crédit : une relecture de la relation salaire-emploi », *Economie appliquée*, tome LXIV, n°4, 69-86.
- Piluso N., 2007, « Le rôle de l'incertitude dans la théorie du chômage de Keynes », *Cahiers d'économie politique*, juillet, 105-114.
- Reynès F., Y. Y. Tamsamani et G. Callonrec, 2011, « Presentation of Three-ME: Multi-sector Macroeconomic Model for the Evaluation of Environmental and Energy policy », Document de travail OFCE 2011-10
- Schneider K., 1997, « Involuntary Unemployment and Environmental Policy : The Double Dividend Hypothesis », *Scandinavian Journal of Economics*, 99, n° 1, 45-59.

## 7. Annexes

Dans cette annexe, nous spécifions les fonctions d'empreinte carbone  $\alpha_{(t)}(T(t))$  et de coût lié au changement climatique  $f_{(t)}\alpha_{(t)}(T(t))Q^s(t)$ .

Nous adoptons la modélisation de l'empreinte carbone à l'article de Fagnard et Germain (2014). Ces derniers écrivent l'empreinte carbone d'une unité de bien produite de la façon suivante :

$$Z = \delta - A$$

avec  $\delta$  l'intensité polluante de la production d'une unité de bien et  $A$  la quantité d'émissions de CO<sub>2</sub> évitée (en produisant une unité de bien) grâce à l'effort de dépollution de la firme.  $Z$  est donc une évaluation de l'empreinte carbone unitaire sur laquelle se base la taxation écologique  $T$ . L'effort de dépollution  $A$  est une fonction croissante de la taxation écologique.

Supposons pour simplifier la modélisation que  $A = \alpha T$  avec  $\alpha$  un paramètre dont la valeur est supérieure à l'unité. La fonction d'empreinte carbone s'écrit donc :

$$\alpha(T(t)) = Z = \delta - (\alpha T)$$

La fonction d'empreinte carbone est donc une fonction décroissante du niveau de taxation écologique décidé par les pouvoirs publics. Plus la taxe carbone est élevée, plus l'effort de dépollution de la firme sera important et moins l'empreinte sera forte.

Nous prenons par ailleurs appui sur la fonction de dommage climatique  $f_{(t)}\alpha_{(t)}(T(t))Q^s(t)$  de Dietz et Stern (2015) qui prend dans le présent article la forme suivante :

$$f_{(t)}\alpha_{(t)}(T(t))Q^s(t) = \varphi[\alpha_{(t)}(T(t))Q^s(t)]$$

avec  $\varphi$  un paramètre dont la valeur est supérieure à zéro.

Autrement dit, quand la taxe carbone augmente, l'empreinte diminue. Cette baisse de la pollution se traduit par une diminution du coût lié au changement climatique.