Utilité séparable dans le temps, offre de travail endogène et capital humain : de nouveaux enseignements sur le lien environnement-croissance

Xavier Pautrel*†

12 décembre 2009

Résumé

Cet article montre qu'en présence de préférences séparables temporellement (entre consommation et loisir) et d'une pollution issue de la production finale, la taxe environnementale stimule l'accumulation de capital humain sur le sentier de croissance régulière, car l'offre de travail *(i)* ne dépend que du salaire, pas de la consommation et *(ii)* influence les rendements de l'éducation.

Ce résultat remet en question l'absence d'effet de la taxe environnementale sur la croissance de long terme obtenue par Hettich (1998), lorsque la production finale est la source de la pollution et l'utilité est non séparable temporellement.

This article shows that with time separable preferences (between consumption and leisure), the environmental tax enhances the long run accumulation of human capital because labor supply (i) only depends on wage and not on the level of consumption and (ii) influences the returns to education.

This result challenges the findings by Hettich (1998) that the environmental tax does not affect the BGP accumulation of human capital when final output is the source of pollution and preferences are time non-separable.

Classification JEL : J24, O41, Q58.

Mots-clés : Croissance ; Environnement ; Capital humain

*Université de Nantes, LEMNA (Laboratoire d'Économie et de Management de Nantes), Chemin de la Censive du Tertre, BP 81307, 44313 Nantes Cedex 3, France. *Mail*: `xavier.pautrel@univ-nantes.fr`

†Je remercie Fabien Tripier pour ses remarques concernant une version plus détaillée de cet article parue comme *Nota di Lavaro* (104.09) de la *Fondazione Eni Enrico Mattei*. Bien évidemment, je reste seul responsable des éventuelles erreurs et omissions.

1 Introduction

Est-il possible d'obtenir une amélioration de l'environnement et une croissance plus élevée lorsque le canal de transmission de la politique environnementale à la croissance est l'éducation ? Dans les économies actuelles, basées sur la connaissance, cette question est importante et elle a reçu des réponses positives de contributions passées et plus récentes. L'objet de cet article est de la ré-examiner en mettant l'accent sur les préférences des individus en présence d'une offre de travail endogène[1].

Même si le rôle des préférences dans la relation environnement-croissance avec éducation a été peu étudié, deux contributions ont mis en lumière son importance. La plus récente, par Grimaud et Tournemaine (2007), en présence d'une offre de travail inélastique, montre qu'une taxe environnementale favorise la croissance, dans un modèle combinant R&D et éducation, lorsque le capital humain entre directement dans la fonction d'utilité comme un bien de consommation et les connaissances issues de la R&D réduisent le flux des émissions polluantes. En accroissant le prix des biens dont la production pollue, la taxe environnementale réduit le coût relatif de l'éducation et incite les agents à investir dans l'accumulation de capital humain. Parce que l'éducation est le moteur de la croissance, à long terme le taux de croissance augmente. La contribution plus ancienne de Hettich (1998) met en lumière l'importance d'une offre de travail endogène lorsqu'est étudié l'impact de la politique environnementale sur l'accumulation de capital humain à long terme. Utilisant des préférences non séparables temporellement, cet auteur montre que les décisions d'offre de travail endogènes (dépendantes de la consommation des individus) créent un lien entre la taxe environnementale et l'accumulation de capital humain à long terme, lorsque la pollution provient de l'utilisation du stock de capital physique dans la production. Dans une telle situation, la taxe environnementale plus élevée fait augmenter les activités de dépollution, ce qui réduit la production finale nette de ces activités au détriment de la consommation des ménages. Pour contrecarrer cette diminution de la consommation, les agents accroissent l'utilité marginale de leur consommation en substituant au loisir du temps d'éducation : l'accumulation du capital humain est stimulée. Toutefois, l'auteur échoue à mettre en évidence théoriquement un lien entre taxation environnementale et

[1]Ici, nous envisageons les préférences sous l'angle consommation-loisir et leurs implications pour le lien environnement-croissance. Nous ne nous intéressons pas aux préférences environnementales qui ont déjà fait l'objet de nombreuses contributions (voir à ce sujet la revue de la littérature de Xepapadeas, 2005)

éducation lorsque la source de pollution est la production finale, car le salaire est affecté par la taxe environnementale et l'offre de travail reste inchangée.

L'objet du présent article est de prolonger ces travaux en considérant que le niveau de capital humain affecte l'utilité du loisir (ou du temps non travaillé), ce qui modifie les rendements des activités d'éducation. Cette idée trouve son origine dans les articles de Becker (1965) et Heckman (1976) selon lesquels le capital humain a des effets bénéfiques hors-marché. Comme le soulignent Benhabib, Rogerson, et Wright (1991) elle s'incarne dans des modèles qui intègrent la production domestique, où un accroissement du stock de capital humain provoque non seulement un accroissement de la productivité du travail mais aussi un accroissement du coût d'opportunité de ces activités ou de manière similaire un accroissement de la productivité du temps de loisir utilisé dans la production domestique[2]. Cette idée a été utilisée dans de nombreux articles (Hercowitz et Sampson, 1991; Collard, 1999; Cassou et Lansing, 1998, 2006; Blackburn et Varvarigos, 2008, entre autres), sous la forme d'une fonction d'utilité séparable temporellement (entre consommation et loisir) où l'utilité du loisir (ou la désutilité du travail) est "ajustée" par le stock de capital humain[3]. Ce type d'utilité implique que le taux marginal de substitution entre la consommation et l'offre de travail est indépendant du niveau de la consommation. Ainsi, l'offre de travail est entièrement déterminée par le salaire et ne dépend pas de l'effet richesse liée à la consommation.

Dans le présent article, nous reprenons ce type de préférences séparables temporellement dans le cadre d'un modèle de croissance à la Lucas (1988) avec environnement, où la production finale est la source de la pollution et où un gouvernement mène une activité publique de dépollution financée par une taxe environnementale sur les flux de pollution. Nous montrons qu'alors l'absence d'effet de la politique environnementale sur l'éducation le long du sentier de croissance régulière, trouvée par Hettich (1998) lorsque la pollution provient de la production finale, n'existe plus. La politique environnementale a un effet positif sur l'accumulation de capital humain le long du sentier de croissance régulière car la séparabilité temporelle des préférences implique que l'offre de travail *(i)* ne dépend que

[2]Dans une telle perspective, le loisir n'est pas valorisé pour lui-même mais pour ce qu'il permet de faire (voir sur ce point Campbell et Ludvigson, 2001).

[3]Voir Hercowitz et Sampson (1991) qui introduisent et justifient une telle fonction d'utilité. On pourra aussi se référer à Milesi-Ferretti et Roubini (1998a,b) qui étudient de manière systématique les différentes façons de modéliser l'utilité du loisir ajustée par le capital humain (avec des préférences temporellement non séparables) et leurs implications en termes de croissance et de taxation.

du salaire, pas de la consommation et *(ii)* influence les rendements de l'éducation. Ainsi, la taxe environnementale réduit le salaire et donc l'offre de travail. Cela conduit à un accroissement du temps pour la production domestique et par suite à une élévation des rendements de l'éducation puisque le capital humain est davantage valorisé dans l'utilité. L'accumulation du capital humain s'accroît sur le sentier de croissance régulière.

La première section de cet article expose le cadre d'analyse ; la seconde section dérive l'expression du taux de croissance régulière et analyse l'influence de la taxe environnementale.

2 Le modèle

Le temps est continu. L'économie est peuplée d'individus identiques à durée de vie infinie qui forment une population de taille constante et normalisée à 1. Les firmes se trouvent en situation de concurrence pure et parfaite. Il existe un gouvernement dont le seul rôle est de mettre en place une politique environnementale qui consiste à taxer les émissions polluantes à un taux constant $\tau \in]0,1[$ et à utiliser les revenus de la taxe pour financer une activité de dépollution.

Chaque agent est doté d'une unité de temps qu'il alloue à la production d'un bien final (pour une part $u \in]0,1[$), à l'éducation (pour une part $e \in]0,1[$), et au loisir (pour le reste $1-u-e \in]0,1[$). Par conséquent, d'après Lucas (1988), le stock de capital humain de l'agent représentatif h évolue comme suit :

$$\dot{h}(t) = A_h e(t) h(t)$$

où $\dot{h}(t) \equiv dh(t)/dt$ et A_h est l'efficacité de l'éducation.

Pour clarifier l'exposition, nous supposons que l'agent représentatif a des préférences liées à la qualité de l'environnement (appelées préférences "*environnementales*") et des préférences indépendantes de l'environnement (appelées préférences "*non environnementales*").

En reprenant Hercowitz et Sampson (1991), nous supposons que l'utilité "*non environnementale*" instantanée est définie par :

$$U_{NE}(t) = \ln[c(t) + h(t)B(1-(e(t)+u(t))^{1+\gamma})], \qquad \gamma > 0 \text{ et } B > 0, \tag{1}$$

où c est la consommation finale, $e+u$ le temps alloué au travail (c'est-à-dire au non-loisir : production finale et éducation). Le terme $h(t)B(1-(e(t)+u(t))^{1+\gamma})$ représente la mesure de l'utilité du loisir ajustée par la qualité et peut être vu comme la forme réduite d'une spécifiation qui incorpore la production domestique (voir Benhabib, Rogerson, et Wright, 1991; Pautrel, 2009). Il intègre la quantité de capital humain h pour prendre en compte le fait que le loisir sert comme input de la production domestique et que son efficacité est accrue par le capital humain[4]. La forme de la fonction d'utilité implique que l'offre de travail endogène $e+u$ est indépendante des choix intertemporels de consommation. Comme le notent Collard (1999) et Blackburn et Varvarigos (2008) entre autres, la linéarité en h est supposée pour obtenir des allocations de temps stationnaires sur le sentier de croissance régulière. Le paramètre γ influence l'utilité du temps de loisir et le rapport $1/\gamma$ mesure l'élasticité de l'effort dépensé dans chaque activité par rapport aux rendements du travail. L'hypothèse $\gamma > 0$ (hypothèse de convexité) est justifiée par Hercowitz et Sampson (1991) comme un effet "*fatigue*"[5].

L'agent représentatif supporte aussi une désutilité provenant de l'accumulation de la pollution dans l'économie (voir Xepapadeas, 2005) :

$$U_E(t) = -\eta \ln S(t),$$

où U_E est l'utilité "*environnementale*" instantanée, S est le stock de pollution et $\eta > 0$ mesure la préférence pour l'environnement. Ainsi, l'utilité totale instantanée de l'agent représentatif est donnée par :

$$\mathcal{U}(t) = \ln\left[c(t) + h(t)B(1 - (e(t) + u(t))^{1+\gamma})\right] - \eta \ln S(t)$$

L'individu maximise son utilité intertemporelle en résolvant le programme suivant :

$$\max_{c(t),u(t),e(t),a(t),h(t)} \quad \int_0^\infty \mathcal{U}(t)\exp(-\varrho t)dt$$

$$\begin{aligned} \text{sous} \quad & \dot{h}(t) = A_h e(t)h(t) \\ & \dot{a}(t) = r(t)a(t) + w(t)u(t)h(t) - c(t) \\ \text{et} \quad & a(0) = ao > 0, \qquad h(0) = ho > 0 \end{aligned}$$

où $\varrho > 0$ est le taux de préférence pour le présent et $\dot{a}(t) = r(t)a(t) + w(t)u(t)h(t) - c(t)$ représente la contrainte budgétaire de l'agent, avec a les actifs financiers détenus par l'agent, r le taux d'intérêt dans l'économie et w le taux de salaire.

[4] Comme nous l'avons souligné dans l'introduction, cela signifie que le loisir n'est pas choisi pour lui-même. Introduire un temps de loisir choisi pour lui-même ne modifierait pas les résultats qualitatifs (voir l'annexe B de Pautrel, 2009).

[5] Blackburn et Varvarigos (2008, p.440 et suivantes) notent que cette hypothèse offre la condition technique nécessaire pour assurer l'existence d'un équilibre avec des solutions non négatives pour u et e ; elle reflète le principe de l'utilité marginale décroissante du loisir. Selon eux, les estimations empiriques et les calibrations de $1/\gamma$ varient entre 0,2 et 10/3. Evers, De Mooij, et Van Vuuren (2008) l'estiment à 0,5 pour les femmes et 0,1 pour les hommes, aux Pays-Bas.

Les conditions du premier-ordre aboutissent aux relations suivantes[6] :

$$e(t) + u(t) = \left[\frac{w(t)}{(1+\gamma)B}\right]^{1/\gamma} \tag{2}$$

avec $w(t)/((1+\gamma)B) < 1$ car $e + u \in]0, 1[$,

$$\frac{\dot{c(t)}}{c(t)} = r(t) - \varrho - B(1 - (e(t) + u(t))^{1+\gamma})\frac{h(t)}{c(t)} \times \\ \left(A_h e(t) + \varrho - r(t) + (\dot{e}(t) + \dot{u}(t))\left(\frac{e(t)+u(t)}{1+\gamma} - \frac{1}{(1+\gamma)}(e(t)+u(t))^{-\gamma}\right)^{-1}\right) \tag{3}$$

et

$$r(t) = A_h(e(t) + u(t)) - A_h\left(\frac{e(t)+u(t)}{1+\gamma} - \frac{1}{(1+\gamma)}(e(t)+u(t))^{-\gamma}\right) + \frac{\dot{w(t)}}{w(t)}, \tag{4}$$

L'équation (2) définit l'offre de travail (la part du temps dévolu à l'éducation e et à la production finale u) comme une fonction du salaire courant. Du fait de la séparabilité temporelle des préférences, l'offre de travail est indépendante du niveau de la consommation. L'équation (3) donne l'évolution de la consommation finale dans le temps. Le dernier terme du membre droit de l'équation représente l'influence de l'utilité retirée du loisir sur la décision intertemporelle de consommer.

Enfin, l'équation (4) indique que les rendements de l'investissement dans le capital physique (membre gauche de l'équation) égalent les rendements de l'investissement dans le capital humain (membre droit de l'équation). Contrairement au modèle de Lucas (1988) avec offre de travail inélastique, ou au modèle de Hettich (1998) avec utilité non séparable temporellement et offre de travail élastique, le paramètre de productivité de l'éducation A_h et le taux de croissance du salaire ne sont plus les seuls déterminants des rendements de l'éducation, en présence d'une offre de travail élastique et d'une utilité séparable temporellement[7].

L'influence du temps de travail sur les rendements de l'accumulation du capital humain apparaît au travers des deux premiers termes du membre droit de l'équation (4). Le terme $A_h(e + u)$ représente en effet les gains pécuniers obtenus lorsque le stock de capital humain s'accroît d'une unité : gains en termes de travail qualifié additionnel dans la production finale u et gains en termes d'investissement dans l'éducation plus élevé e. Le terme

[6]Les conditions de transversalité sont vérifiées.

[7]En faisant tendre γ vers l'infini (l'élasticité de l'offre de travail par rapport au salaire $1/\gamma$ tend vers 0) et en posant $e + u = 1$, nous retrouvons le cas d'une offre de travail inélastique et le membre gauche de l'équation (4) égale $A_h + \dot{w}/w$ comme dans Lucas (1988).

$-A_h\left(\frac{e+u}{1+\gamma}-\frac{1}{(1+\gamma)}(e+u)^{-\gamma}\right)$ représente le coût en termes d'utilité de l'accroissement du capital humain. Il est proportionnel au montant du temps de travail $(e+u)$ parce qu'un temps de travail plus élevé implique une utilité du capital humain plus faible. L'impact global de $e+u$ sur les rendements de l'éducation est obtenu en réécrivant (4) comme suit :

$$r(t)=\frac{A_h}{1+\gamma}\left[\gamma(e(t)+u(t))+(e(t)+u(t))^{-\gamma}\right]+\frac{\dot{w}(t)}{w(t)}, \tag{5}$$

Parce que $e+u<1$, l'effet négatif d'un accroissement du temps de travail sur les rendements de l'éducation l'emporte sur l'effet positif : un accroissement de l'offre de travail réduit les rendements de l'éducation, toute chose égale par ailleurs[8].

La production finale y est réalisée en concurrence parfaite selon une technologie Cobb-Douglas à rendements constants :

$$y(t)=A_y k(t)^{\alpha_k}(u(t)h(t))^{\alpha_l}p(t)^{\alpha_p}, \qquad \alpha_k,\alpha_l,\alpha_p\in]0,1[\ \text{ et }\ \alpha_k+\alpha_l+\alpha_p=1$$

où $A_y>0$ est un paramètre de productivité, k est le stock de capital physique, uh est la quantité de capital humain allouée à la production finale et p représente les émissions de polluants. Les entreprises supportent une taxe environnementale $\tau>0$, mise en œuvre par le gouvernement, sur chaque unité de polluants qu'elles émettent. Elles maximisent leur profit $y(t)-r(t)k(t)-w(t)u(t)h(t)-\tau p(t)$ en égalisant le prix des facteurs à leur productivité marginale :

$$r(t)=\alpha_k y(t)/k(t) \qquad \text{et} \qquad w(t)=\alpha_l y(t)/(h(t)u(t)) \tag{6}$$

et en égalisant le coût marginal des émissions polluantes à leur productivité marginale :

$$\tau=\alpha_p y(t)/p(t) \tag{7}$$

En utilisant ces résultats, la production finale s'écrit comme une fonction du stock de capital physique, du capital humain alloué au secteur final et de la taxe environnementale :

$$y(t)=\mathcal{A}(\tau)k(t)^{\alpha}(h(t)u(t))^{1-\alpha} \tag{8}$$

avec $\mathcal{A}(\tau)\equiv\left(A_y\alpha_p^{\alpha_p}\tau^{-\alpha_p}\right)^{1/(\alpha_k+\alpha_l)}$ et $\alpha\equiv\alpha_k/(\alpha_k+\alpha_l)$.

[8] $\frac{d\left[\gamma(e+u)+(e+u)^{-\gamma}\right]}{d(e+u)}=\gamma\left[1-(e+u)^{-\gamma-1}\right]<0$ car $(e+u)<1\Leftrightarrow(e+u)^{-\gamma-1}>1$.

En utilisant les équations (6) et (8), le taux d'intérêt et le salaire peuvent être exprimés comme suit :

$$r(t) = \alpha_k \mathcal{A}(\tau) \left(\frac{k(t)}{h(t)u(t)}\right)^{\alpha-1} \qquad \text{et} \qquad w(t) = \alpha_l \mathcal{A}(\tau) \left(\frac{k(t)}{h(t)u(t)}\right)^{\alpha} \tag{9}$$

Le stock de pollution à la date t, noté $S(t)$, évolue selon deux forces opposées. D'une part, il s'accroît avec le flux net de pollution, c'est-à-dire le rapport entre les émissions polluantes $p(t)$ et les services de dépollution offerts publiquement par le gouvernement, notés $d(t)$. D'autre part, le stock de pollution diminue avec le taux d'absorption naturelle noté $\zeta > 0$, de sorte que $\dot{S}(t) = [p(t)/d(t)]^{\chi} - \zeta S(t)$, où $\chi > 0$ est l'élasticité exogène du stock de pollution par rapport au flux net de pollution p/d. Comme le gouvernement utilise le fruit de la taxe environnementale τp pour financer ses services de dépollution d, l'évolution du stock de pollution dans le temps est donnée par :

$$\dot{S}(t) = \tau^{-\chi} - \zeta S(t).$$

Enfin, les marchés des facteurs de production s'ajustent instantanément et l'équilibre du marché financier implique que la totalité des actifs financiers détenus par les agents égale le stock de capital physique ($a = k$). La production finale est utilisée soit pour la consommation finale, soit pour l'investissement, soit pour les services de dépollution (dont chaque unité nécessite la dépense d'une unité de production finale). Puisque le budget du gouvernement est équilibré à chaque date, $\tau p = d$, et d'après l'équation (7) l'équilibre du marché du bien final s'écrit :

$$(1 - \alpha_p) y(t) = c(t) + \dot{k}(t)$$

En notant $b \equiv h/k$ et $x \equiv c/k$, la dynamique de l'économie peut être résumée par le système d'équations suivant[9] :

$$\begin{aligned}\frac{\dot{x(t)}}{x(t)} &= (\alpha_k + \alpha_p - 1)\mathcal{A}(\tau)\left(b(t)u(t)\right)^{1-\alpha} + x(t) - \varrho \\ &- B(1 - (e(t)+u(t))^{1+\gamma})\frac{b(t)}{x(t)}\Big\{A_h e(t) + \varrho - \alpha_k \mathcal{A}(\tau)\left(b(t)u(t)\right)^{1-\alpha} \\ &\qquad + (\dot{e}(t) + \dot{u}(t))\left(\frac{e(t)+u(t)}{1+\gamma} - \frac{1}{(1+\gamma)}(e(t)+u(t))^{-\gamma}\right)^{-1}\Big\}\end{aligned} \tag{10}$$

[9]En différentiant le salaire (équation 9) par rapport au temps (avec les équations (4), (2) et (9)) nous obtenons $\dot{u}(t)$.

$$\frac{\dot{b(t)}}{b(t)} = A_h e(t) - (1-\alpha_p)\mathcal{A}(\tau)\left(b(t)u(t)\right)^{1-\alpha} + x(t) \tag{11}$$

$$\frac{\dot{u(t)}}{u(t)} = \frac{A_h}{\alpha}\left[e(t)+u(t) - \left(\frac{e(t)+u(t)}{1+\gamma} - \frac{1}{(1+\gamma)}(e(t)+u(t))^{-\gamma}\right)\right] \\ - (\alpha_k+\alpha_l)\mathcal{A}(\tau)\left(b(t)u(t)\right)^{1-\alpha} - \frac{\dot{b(t)}}{b(t)} \tag{12}$$

$$e(t)+u(t) = \left[\frac{\alpha_l \mathcal{A}(\tau)}{B(1+\gamma)}\left(b(t)u(t)\right)^{-\alpha}\right]^{1/\gamma} \tag{13}$$

$$\alpha \equiv \frac{\alpha_k}{\alpha_k+\alpha_l}$$

3 Politique environnementale et croissance régulière

Nous nous limitons ici à l'étude de l'équilibre d'état stationnaire défini comme un sentier de croissance régulière où les variables c, h, k et y évoluent à un même taux de croissance positif endogène $g^\star$ (une étoile signifie "*sur le sentier de croissance régulière*") et où u, e, S, w et r sont constants.

Par conséquent sur le sentier de croissance régulière, $\dot{x} = \dot{b} = 0$, et d'après les équations (10) et (11), nous obtenons :

$$\left[1 + B(1-(e^\star+u^\star)^{1+\gamma})\frac{b^\star}{x^\star}\right]\left[\alpha_k \mathcal{A}(\tau)\left(b^\star u^\star\right)^{1-\alpha} - \varrho - A_h e^\star\right] = 0$$

Le premier terme entre crochets du membre gauche de l'équation est le rapport $(c+Bh(1-(e+u)^{1+\gamma}))/c$ évalué sur le sentier de croissance régulière. Parce que $c+Bh(1-(e+u)^{1+\gamma}) > 0$ (voir l'expression de l'utilité non-environnementale instantanée, équation 1), l'égalité précédente impose

$$\alpha_k \mathcal{A}(\tau)\left(b^\star u^\star\right)^{1-\alpha} - \varrho = A_h e^\star = g^\star \tag{14}$$

Comme $\dot{u} = 0$ sur le sentier de croissance régulière, les équations (12) et (13) nous donnent l'expression suivante[10] :

$$\alpha_k\left(\frac{\alpha_l}{B(1+\gamma)}\right)^{(1-\alpha)/\alpha}\mathcal{A}(\tau)^{1/\alpha}(e^\star+u^\star)^{-\gamma(1-2\alpha)/\alpha} = \frac{A_h}{1+\gamma}\left[\gamma(e^\star+u^\star)^{1+\gamma}+1\right] \tag{15}$$

qui définit implicitement le temps alloué au travail sur le sentier de croissance régulière $e^\star + u^\star$.

[10] $\dot{u} = \dot{b} = 0$ implique $\alpha_k\mathcal{A}(\tau)\left(b^\star u^\star\right)^{1-\alpha} = A_h\left[e^\star+u^\star - \left(\frac{e^\star+u^\star}{1+\gamma} - \frac{1}{(1+\gamma)}(e^\star+u^\star)^{-\gamma}\right)\right]$. D'après (13), $b^\star u^\star = \left[\frac{\alpha_l\mathcal{A}(\tau)(e^\star+u^\star)^{-\gamma}}{B(1+\gamma)}\right]^{1/\alpha}$. En utilisant ces deux résultats nous obtenons l'équation (15).

Proposition 1. *Si* $\tau > \bar{\tau} \equiv \alpha_p A_y^{1/\alpha_p} \left[\left(\frac{A_h}{\alpha_k} \right)^{1/\alpha} \left(\frac{\alpha_l}{B(1+\gamma)} \right)^{\alpha-1} \right]^{(\alpha_p-1)/\alpha_p}$ *et* $\alpha \leq 1/2$, *le temps alloué au travail sur le sentier de croissance régulière* $e^\star + u^\star \in]0,1[$ *est unique et dépend négativement de la taxe environnementale. Il est noté* $\mathcal{E}(\tau)$ *avec* $d\mathcal{E}(\tau)/d\tau < 0$.

Démonstration. Voir en annexe. ∎

La condition $\tau > \bar{\tau}$ signifie simplement qu'un niveau minimum de taxation sur les polluants est nécessaire pour que les agents soient incités à investir dans l'éducation. La condition $\alpha \leq 1/2$ signifie que la part du capital physique dans la production finale doit être inférieure ou égale à la part du travail qualifié ($\alpha_k \leq \alpha_l$). Les équations (13), (14) et (15) nous permettent d'exprimer le taux de croissance sur le sentier régulier comme une fonction de la taxe environnementale[11] :

$$g^\star = \frac{A_h}{1+\gamma} \left[\gamma \mathcal{E}(\tau) + \mathcal{E}(\tau)^{-\gamma} \right] - \varrho \tag{16}$$

Il découle de cette expression, la proposition suivante :

Proposition 2. *En présence de préférences séparables temporellement à la Hercowitz et Sampson (1991) où l'utilité du loisir est "ajustée par la qualité" (c'est-à-dire le capital humain) et en présence d'une pollution dont la source est la production finale, une taxe environnementale plus élevée augmentera l'accumulation de capital humain sur le sentier régulier.*

Démonstration. Nous avons $\frac{\partial g^\star}{\partial \tau} = \frac{\gamma A_h}{1+\gamma} \left[1 - \mathcal{E}(\tau)^{-(1+\gamma)} \right] \times \frac{\partial \mathcal{E}(\tau)}{\partial \tau}$. Le terme entre crochets est négatif parce que $\mathcal{E}(\tau) \in]0,1[$ par définition. Comme $\frac{\partial \mathcal{E}(\tau)}{\partial \tau} < 0$, nous obtenons, $\frac{\partial g^\star}{\partial \tau} > 0$. ∎

Le premier terme à droite de l'égalité dans l'expression du taux de croissance régulière (équation 16) représente les rendements de l'éducation le long du sentier régulier, qui sont égaux au taux d'intérêt (voir équation 5). Comme nous l'avons précisé précédemment (voir le commentaire après l'équation 4), l'offre de travail endogène a deux effets opposés sur ces rendements : un effet positif lié aux gains pécuniers de l'éducation et un effet négatif lié au coût en termes d'utilité d'une offre de travail plus importante c'est-à-dire d'un temps pour la production domestique plus faible. Et comme nous l'avons montré après l'équation (5) c'est l'effet négatif qui l'emporte.

[11] L'équilibre de long terme est unique (par la Proposition 1) et stable au sens du point-selle. Démonstration sur demande.

Ainsi, un accroissement de la taxe environnementale réduit la rémunération des facteurs de production (salaire et taux d'intérêt) et incite les agents à réduire leur offre de travail : $e^{\star}+u^{\star}$ chute[12]. Cette diminution affecte négativement les rendements de l'éducation : ceux-ci augmentent et l'accumulation du capital humain s'accroît sur le sentier de croissance régulière[13].

4 Conclusion

L'objet de cet article était de contribuer à la compréhension du lien entre l'environnement et la croissance lorsque le canal de transmission est l'éducation.

Nous avons montré qu'en présence de préférences temporellement séparables (entre consommation et loisir), la taxe environnementale stimule l'accumulation de capital humain, même lorsque la source de la pollution est la production finale, car l'offre de travail dépend seulement du salaire (plus du niveau de consommation comme avec des préférences non séparables temporellement) et elle influence négativement les rendements de l'éducation. Ainsi, lorsque la pollution provient de la production finale, une taxe environnementale plus élevée, en réduisant la rémunération des facteurs de production (salaire et taux d'intérêt), incite les agents à moins travailler, ce qui conduit à un accroissement du loisir. La réduction de l'offre du travail augmente les rendements de l'éducation et par suite l'accumulation de capital humain s'accroît sur le sentier de croissance régulière.

Ce résultat remet en question celui de Hettich (1998) selon lequel, en présence de loisir, la taxe environnementale n'affecte pas l'accumulation de capital humain sur le sentier régulier lorsque la production finale est la source de pollution.

Références bibliographiques

Becker, G. S. (1965) : "A theory of the allocation of time," *Economic Journal*, 75, 493–517.

[12] Comme dans le modèle de Hettich (1998), l'accroissement de la taxe environnementale provoque aussi un accroissement des services de dépollution, ce qui évince la consommation. Mais contrairement à Hettich (1998), la consommation n'affecte pas la décision de travailler (voir l'équation 2) et par suite l'éviction de la consommation ne contrebalance pas la diminution du salaire. Notons aussi que les préférences séparables temporellement rendent les rendements de l'éducation dépendants de l'offre de travail, ce qui n'est pas le cas chez Hettich (1998).

[13] Les équations (13) et (14) donnent l'effort d'éducation sur le sentier régulier $e^{\star}$ comme une fonction décroissante de l'offre de travail sur le sentier régulier $e^{\star}+u^{\star}$. Ainsi, l'offre de travail diminue avec une réallocation du temps alloué à la production finale vers l'éducation et le loisir.

Benhabib, J., R. Rogerson, et R. Wright (1991) : “Homework in macroeconomics : household production and aggregate fluctuations,” *Journal of Political Economy*, 99(6), 1166–1187.

Blackburn, K., et D. Varvarigos (2008) : “Human capital accumulation and output growth in a stochastic environment,” *Economic Theory*, 36(3), 435–452.

Campbell, J., et S. Ludvigson (2001) : “Elasticities of substitution in real business cycle models with home production,” *Journal of Money, Credit and Banking*, 33(4), 847–875.

Cassou, S., et K. Lansing (1998) : “Optimal fiscal policy, public capital, and the productivity slowdown,” *Journal of Economic Dynamics and Control*, 22, 911–935.

——— (2006) : “Tax reform with useful public expenditures,” *Journal of Public Economic Theory*, 8(4), 631–676.

Collard, F. (1999) : “Spectral and persistence properties of cyclical growth,” *Journal of Economic Dynamics and Control*, 23, 463–488.

Evers, M., R. De Mooij, et D. Van Vuuren (2008) : “The wage elasticity of labour supply : A synthesis of empirical estimates,” *De Economist*, 156(1), 25–43.

Grimaud, A., et F. Tournemaine (2007) : “Why can environmental policy tax promote growth through the channel of education ?,” *Ecological Economics*, 62(1), 27–36.

Heckman, J. (1976) : “A life-cycle model of earnings, learning and consumption,” *Journal of Political Economy*, 84(4), S11–S44.

Hercowitz, Z., et M. Sampson (1991) : “Output growth, the real wage, and the employment fluctuations,” *American Economic Review*, 81, 1215–1237.

Hettich, F. (1998) : “Growth effects of a revenue-neutral environmental tax reform,” *Journal of Economics*, 67(3), 287–316.

Lucas, R. (1988) : “On the Mechanisms of Economic Development,” *Journal of Monetary Economics*, 22, 3–42.

Milesi-Ferretti, G., et N. Roubini (1998a) : “Growth Effects of Income and Consumption Taxes,” *Journal of Money, Credit and Banking*, 30(4), 721–744.

——— (1998b) : “On the taxation of human and physical capital in models of endogenous growth,” *Journal of Public Economics*, 70, 237–254.

Pautrel, X. (2009) : “Time-separable utility, leisure and human capital accumulation : What new implications for the environment-growth nexus ?,” Nota di lavaro 104.2009, Fondazione Eni Enrico Mattei.

Xepapadeas, A. (2005) : “Economic Growth and the Environment,” in *Handbook of Environmental Economics, vol.III*, pp. 1219–1271. Elsevier Science Publishers B.V.

Annexe

Sous la condition suffisante $\alpha \leq 1/2$, le membre gauche de l'équation(15) est décroissant avec $e^\star + u^\star$. Il tend vers l'infini lorsque $e^\star + u^\star$ tend vers 0 et pour $e^\star + u^\star = 1$ il est égal à $\alpha_k \left(\frac{\alpha_l}{B(1+\gamma)}\right)^{(1-\alpha)/\alpha} \mathcal{A}(\tau)^{1/\alpha} > 0$. Le membre droit de l'équation (15) est croissant avec $e^\star + u^\star$, égal à $\frac{A_h}{1+\gamma} > 0$ lorsque $e^\star + u^\star = 0$ et égal à A_h lorsque $e^\star + u^\star = 1$. Par conséquent l'équation (15) définit un unique $e^\star + u^\star \in]0,1[$ lorsque $\alpha_k \left(\dfrac{\alpha_l}{B(1+\gamma)}\right)^{(1-\alpha)/\alpha} \mathcal{A}(\tau)^{1/\alpha} < A_h$ c'est-à-dire lorsque $\tau > \alpha_p A_y^{1/\alpha_p} \left[\left(\dfrac{A_h}{\alpha_k}\right)^{1/\alpha} \left(\frac{\alpha_l}{B(1+\gamma)}\right)^{\alpha-1}\right]^{(\alpha_p-1)/\alpha_p}$ et $\alpha \leq 1/2$.

Il est évident d'après le théorème des fonctions implicites, que si $\alpha \leq 1/2$, $e^\star + u^\star$ est une fonction décroissante de τ.