8
POLITIQUE DE R & D

8.1 Le modèle de Romer
8.2 Croissance d'équilibre
8.3 Croissance optimale
8.4 Politiques économiques

Jusqu'ici on a considéré que l'accumulation du capital au sens large (incluant le capital humain) se faisait sans rendements décroissants et permettait la croissance auto-entretenue dans une économie concurrentielle. Mais, pour l'instant, on n'a pas introduit une véritable théorie du changement technologique, une explication endogène du progrès technique résultant de la recherche d'idées nouvelles. Cette théorie, est en fait difficile à construire dans le cadre de réflexion précédent. La difficulté, tient dans l'impossibilité, dans un cadre de concurrence pure et parfaite, à trouver une incitation à produire des idées. La rémunération du capital et du travail, inputs privés (rivaux et excluables), épuise le revenu. Dans ce chapitre nous entrons dans « l'économie des idées ».

La recherche privée qui sous tend le progrès technique est motivée comme le remarquait Schumpeter par le flux de profit que s'approprie l'innovateur. Puisque le profit dépend d'une forme quelconque de pouvoir de monopole, l'équilibre de concurrence imparfaite qui en résulte n'est pas Pareto optimal. La production d'idées nouvelles consiste à donner des connaissances aux autres qui les utiliseront à leur tour. Cette production engendre donc des externalités et l'équilibre qui en résulte n'est pas Pareto optimal. Il y a fondamentalement deux distorsion à la concurrence pure et parfaite dans l'économie des idées.

Une idée est un bien non rival. Le concept de rendement d'échelle constant s'applique aux inputs rivaux, capital et travail, $F(\lambda K, \lambda L, A) = \lambda F(K, L, A)$, pas aux idées. Une fois produite, tous les agents peuvent l'utiliser l'idée nouvelle. La production d'une idée impose un coût une fois pour toutes, assimilable à un coût fixe qui implique des rendements croissants et la concurrence imparfaite.

Une idée est un bien plus ou moins excluable. La possibilité d'exclusion d'usage dépend de caractéristique intrinsèque au bien et de possibilités légales. Les connaissances fondamentales de la science, de nombreux logiciels que l'on peut télécharger, sont des biens non excluables, générateurs d'externalités positives. Les innovations brevetées, les procédés secrets de fabrications, sont des biens excluables, générateurs de situations de monopole.

Paul Romer publie dans le JPE d'octobre 1990 et, en français, dans les Annales d'Economie et Statistiques de 1991 un article intitulé « Progrès technique endogène ». Il introduit deux ruptures dans la théorie de la croissance. 1) Sa Vision générale[1] est que la conception d'une croissance perpétuelle devient possible si l'on abandonne le paradigme matérialiste qui consiste à considérer l'augmentation des quantités matérielles des biens. Romer propose de considérer la croissance comme une augmentation de la variété des biens. La « matière » est en quantité donnée, mais les hommes ont une capacité infinie à « reconfigurer » celle-ci pour augmenter la variété des biens de production et de consommation. Comme les recettes de cuisine les combinaisons de produits sont infinies. Les

[1] Lire sur Internet les articles de P. Romer, « Economic growth » et le commentaire très apologétique de Kevin Kelly, « The Economics of Ideas » :
http://www.stanford.edu/~promer/Econgro.htm
http://www.wired.com/wired/archive/4.06/romer.html

innovateurs sont les individus qui créent ces combinaisons nouvelles. 2) Les innovateurs tirent de ces créations des pouvoirs de monopole. Cette seconde rupture, nous fait sortir du cadre concurrentiel, donc de l'optimalité et fonde le principe de l'intervention publique.

On présente le modèle de Romer, sa solution d'équilibre, sa solution optimale, puis on envisage les différentes politiques économiques pour réaliser l'optimum.

8.1 LE MODÈLE DE ROMER

C'est un modèle à trois secteurs : le secteur produisant du bien final en concurrence parfaite, le secteur produisant les différents biens de capital en concurrence monopolistique, le secteur de la recherche où les chercheurs sont en situation de monopole[2].

8.1.1 Le secteur du bien final

Le bien final est produit en quantité Y avec trois types de facteurs : du travail L, du capital humain H et du capital physique. Le capital physique n'est pas homogène, il en existe A variétés, utilisées en quantité $x(i)$. Le continuum de biens de capital va de 0 à A. L'étendue de ce continuum, A, varie dans le temps. La fonction de production, à la Dixit-Stiglitz, est :

$$Y = {H_Y}^{\alpha} L^{\beta} \int_0^A x(i)^{1-\alpha-\beta}\, di \qquad (8.1)$$

- H_Y est la part du stock de capital humain H affectée à la production de bien. Une autre part (H_A) est affectée à la recherche, de sorte que : $H = H_Y + H_A$.
- L est le travail non qualifié. Par hypothèse H et L sont constants.
- $x(i)$ est la quantité utilisée du bien de capital de la variété i. La forme additive de cette fonction signifie que la productivité marginale de chaque bien d'équipement est indépendante de la quantité utilisée des autres biens d'équipement. Puisque les productivités marginales des $x(i)$ sont indépendantes les unes des autres, cela implique que les biens d'équipement restent tous productifs, ne deviennent jamais obsolètes lorsque de nouveaux biens apparaissent. C'est la différence avec le modèle de Aghion et Howitt (1992) dans lequel chaque innovation rend la précédente obsolète, où le progrès technique est un processus de destruction créatrice.
- A représente le nombre de biens d'équipement disponibles. A est en quelque sorte une mesure de l'ampleur du savoir social. Le progrès technique se manifeste ici sous la forme d'une augmentation de A.

Il est intéressant de comparer la formalisation de Romer à la spécification traditionnelle du capital qui donnerait dans ce cas : $Y = {H_Y}^{\alpha} L^{\beta} \left[\int_0^A x(i)\, di\right]^{1-\alpha-\beta}$.

Chez Romer, Y est homogène de degré un par rapport à A, doubler le nombre de biens d'équipement double l'output, mais Y est homogène de degré $(1-\alpha-\beta)$ par rapport à x, doubler la quantité de chaque input ne multiplie l'output que par $2^{1-\alpha-\beta}$. Dans la spécification traditionnelle, Y est homogène de degré $1-\alpha-\beta$ par rapport à x comme par rapport à A, doubler le nombre de biens ou doubler la quantité utilisée de chacun, multiplie par $2^{1-\alpha-\beta}$ l'output. Dans la spécification traditionnelle seule compte la quantité de capital, pas le nombre

[2] Le modèle de Romer est élégant, mais récalcitrant à une présentation simple. Il est souvent abusivement simplifié. Mon collègue Philippe Rous, m'a suggéré la présentation pédagogique suivante.

et la diversité des biens d'équipement. La théorie de Romer permet de distinguer la qualité de la quantité et souligne que la diversité du capital a un « effet multiplicatif » plus fort que la quantité. Dans la spécification traditionnelle, le taux de substitution entre deux biens d'équipement x(i) et x(j) est toujours égal à -1, les biens d'équipement sont des substituts parfaits les uns des autres, le capital est un bien homogène. C'est la raison pour laquelle, doubler leur nombre ou la quantité utilisée de chacun, revient au même. Dans la spécification à la Romer, le taux de substitution entre deux biens d'équipement x(i) et x(j) est égal à $\left(-x(i)/x(j)\right)^{-\alpha-\beta}$, les biens d'équipement sont des substituts imparfaits les uns des autres. C'est la raison pour laquelle, les producteurs de ces biens différenciés, ont un certain pouvoir de monopole, comme nous le verrons.

On montrera (équation 8.7) qu'à l'équilibre les monopoles produisent une quantité identique ; x(i) = x pour tout i. Donc à l'équilibre la fonction de production se simplifie en :

$$Y = H_Y^{\alpha} L^{\beta} A x^{1-\alpha-\beta} \qquad (8.1')$$

On voit alors, qu'à l'équilibre, les rendements d'échelle sont constants par rapport aux quantités des facteurs H_Y, L et x. De plus, pour H_Y, L , x, donnés, une augmentation de la variété des biens d'équipement, A, augmente Y. Cet effet de variété agit comme le progrès technique, évince la diminution des rendements et assure la croissance auto-entretenue.

Le comportement des producteurs de bien final : les producteurs sont *price taker* sur les marchés de leurs inputs et, en particulier, sur les marchés des biens d'équipement. La quantité demandée du i^ème^ bien d'équipement est telle que sa productivité marginale est égale à son prix $p(x_i)$. Alors x_i la quantité demandée de la variété i de bien d'équipement est telle que :

$$p(x_i) = (1-\alpha-\beta) H_Y^{\alpha} L^{\beta} x_i^{-\alpha-\beta} \qquad (8.2)$$

C'est la courbe de demande pour le bien de capital i. On va voir que cette demande est exploitée par un producteur de biens d'équipement en monopole.

8.1.2 Le secteur des biens d'équipement

Chaque bien d'équipement, substitut imparfait des autres, est produit par un seul producteur qui détient donc une position de monopole relative. Chaque producteur détermine le prix du bien qu'il offre, de façon à maximiser son profit, sous l'hypothèse que les prix déterminés par les autres, sont donnés. Puisque les autres offrent des substituts imparfaits, le secteur des biens d'équipement est en concurrence monopolistique. Les monopoles louent les biens d'équipement qu'ils produisent, aux producteurs de bien final. Pour produire ce bien spécifique, chaque monopole doit acheter un brevet d'exploitation à l'un des producteurs du secteur de la recherche.

La fonction de production des biens d'équipements : pour produire une unité de bien d'équipement de variété i, le producteur utilise des quantités de facteurs qui auraient permis, si elles avaient été utilisées dans le secteur des biens finals, la production de η unités de bien final. Pour produire un bien intermédiaire il faut η unités de bien de consommation épargnée, autrement dit, la fonction de production des biens d'équipement est la même que celle du bien final à un prix relatif η près.

Ce prix relatif permet d'évaluer le stock global de capital en unités de bien final. Comme le capital n'est pas homogène il n'est pas possible de le mesurer directement en faisant la somme des x_i. On le mesure donc de façon indirecte en sommant les « équivalents bien final » auxquels l'économie renonce. Le stock de capital mesuré en unités de biens de consommation, est :

$$K = \eta \int_0^A x_i di \qquad (8.3)$$

$$K = \eta A x \quad \text{si} \quad x_i = x \qquad (8.4)$$

Le comportement des producteurs de bien d'équipement : chaque producteur est en monopole sur le marché de son output. Il exploite donc à son profit la demande pour son produit qui émane du secteur du bien final. Chaque bien d'équipement i, qui a une durée de vie infinie, est loué au prix $p(x_i)$ par le producteur. Ce prix $p(x_i)$ est exprimé en unités de bien final, il représente le loyer, dont on doit s'acquitter par unité de temps, pour utiliser une unité de capital de la variété i.

La recette totale d'un producteur de biens d'équipement s'étale sur un nombre de périodes infini. En termes actualisés, la recette totale engendrée par la location d'une quantité x_i de bien d'équipement i est donc :

$$\text{RT(i)} = \int_0^{+\infty} p(x_i).x_i.e^{-rt}dt = \frac{p(x_i).x_i}{r} \qquad (8.5)$$

Le coût total de production de la quantité x_i exprimé en termes de bien final, se décompose en : 1) un coût d'acquisition des facteurs mesuré en unités de bien final ηx_i. Ce coût est payé lors de la production à la date t = 0 ; 2) un coût d'acquisition du brevet d'exploitation p_A qui est un coût fixe payé intégralement à l'inventeur de cette variété de biens d'équipement au moment de l'acquisition du brevet, en t = 0.

Le profit actualisé est donc :

$$\int_0^{\infty} e^{-rt}\pi_t.dt = \int_0^{\infty} e^{-rt}\, p(x_i).x_i.dt - \eta x_i - p_A \;= \frac{p(x_i)\,x_i}{r} - \eta\, x_i - p_A \qquad (8.6)$$

où $\frac{p(x_i)}{r}$ est le loyer actualisé.

Le producteur de bien d'équipement est en concurrence avec les autres producteurs de biens d'équipement sur le marché des brevets. Il est donc price taker sur le marché des brevets et p_A est donné pour chaque producteur de biens d'équipement.

Le producteur de bien d'équipement est en monopole sur le marché de son output. Le prix $p(x_i)$ qui apparaît dans l'expression de son profit est, par conséquent, le prix de demande que les producteurs de bien final sont disposés à payer, prix défini en (8.2).

Le producteur maximise son profit par rapport à la quantité qu'il produit. L'équilibre est atteint lorsque sa recette marginale actualisée est égale à son coût marginal η pour :

$$x(i) = \left[\frac{\eta\, r}{(1-\alpha-\beta)^2\, H_Y^{\alpha} L^{\beta}}\right]^{-\frac{1}{\alpha+\beta}} = x^{eq} \quad \forall\, i \qquad (8.7)$$

Le loyer d'équilibre $p(x_i)^{eq}$ est obtenu en reportant la quantité x^{eq} dans l'expression du prix de demande de biens d'équipement des producteurs de bien final (équation 8.2).

$$p^{eq} = \frac{\eta\, r}{1-\alpha-\beta} \qquad (8.8)$$

8.1.3 Le secteur de la recherche

L'activité de recherche consiste à repousser toujours davantage la borne supérieure du continuum de variétés de biens d'équipement. Il s'agit d'inventer de nouvelles variétés de biens d'équipement qui viennent s'ajouter à celles qui existent déjà. Ce qu'on produit dans le secteur de la recherche, ce sont de nouvelles variétés ; la production de ce secteur se mesure donc par DA.

La fonction de production : la production de variétés nouvelles DA(t) dépend du nombre de variétés existantes (A) et du stock de capital humain dans le secteur de la recherche (H_A). On ne produit, dans ce secteur de la recherche, qu'avec de la matière grise (le capital humain) et sur la base du savoir social (A) déjà acquis. Un chercheur j utilise pour produire son capital humain Hj_A et le stock global de connaissance A (la connaissance est un input non rival). En sommant par rapport au nombre de chercheurs on obtient la production globale de variétés nouvelles :

$$DA = \delta H_A A \qquad (8.9)$$

On note que la productivité marginale du capital humain dans le secteur de la recherche ($PmH_A = \delta A$) est une fonction croissante du savoir social accessible à tous : la PmH_A augmente donc au fur et à mesure qu'on avance dans le temps, en effet, comme l'étendue des variétés ne cesse de croître dans le temps, la PmH_A croît au taux DA/A. Ainsi, même si le capital humain n'est pas accumulable (ce qu'on suppose dans ce modèle[3]), la production de nouvelles variétés va croissant. « Suivant cette spécification, un ingénieur possède de nos jours le même capital humain que celui qui travaillait il y a un siècle. (Mais) l'ingénieur qui travaille aujourd'hui est plus productif parce qu'il peut profiter de l'ensemble des connaissances supplémentaires qui se sont accumulées au cours des cent dernières années[4]. »

Le comportement des producteurs de variétés nouvelles : les chercheurs produisent avec du capital humain et un input non rival et non excluable (A) qui n'est donc pas rémunéré. Ne pas rémunérer A est justifié par le fait que les anciens brevets contiennent des informations accessibles à tous. La fonction de production est homogène de degré deux, mais comme A n'est pas rémunéré, il est possible de rémunérer le capital humain à sa productivité marginale.

La recette totale réalisée par l'ensemble des chercheurs à l'instant t est égale au nombre de brevets nouvellement produits DA(t) que multiplie le prix de vente p_A de ces brevets. Le profit réalisé dans le secteur de la recherche est : $\Pi_R = p_A\, DA(t) - w\, H_A$.

Dans le secteur de la recherche, les chercheurs sont price taker sur le marché de leur input rival et excluable (le capital humain), le taux de rémunération du capital humain est donné par le marché. Sur le marché des brevets, le chercheur qui invente un concept nouveau est en situation de monopole. Le prix auquel il vend ce brevet est tel qu'il lui permet de capter l'intégralité du profit actualisé du producteur de biens d'équipement qui achète ce brevet. Le prix p_A du nouveau concept est donc (d'après 8.6, 8.7, 8.8) tel que :

---

[3] On comprend que c'est une condition pour qu'il y ait croissance à taux constant puisque $\frac{DA}{A} = \delta . H_A$.

[4] Romer (1991), p. 13. Remarquons qu'on a là une modélisation différente de celle de Lucas qui supposait, lui, que le capital humain est accumulable. En quelque sorte, Lucas suppose que Einstein a plus de capital humain que Galilée. Romer suppose que Einstein a le même capital humain que Galilée, mais bénéficie d'une étendue plus large des connaissances... qu'il est monté sur des épaules de géants.

$$\frac{\pi}{r} = \frac{p(x).x}{r} - \eta x - p_A = 0 \qquad (8.10)$$

En remplaçant p(x), le loyer versé par le producteur de bien final au producteur de biens d'équipement, par son expression (8.8) on obtient le prix d'équilibre du brevet :

$$p_A{*} = (\alpha+\beta)\frac{\eta\ x}{1-\alpha-\beta} = (\alpha+\beta)\frac{p^{eq}\ x}{r} \qquad (8.11)$$

Les chercheurs captent l'intégralité de la rente de monopole du producteur de biens intermédiaires. C'est le producteur de biens d'équipement qui exploite la demande qui émane du secteur des biens finals. C'est le chercheur qui détermine le prix de vente p_A de ces brevets de telle sorte que celui-ci annule le profit des producteurs de biens d'équipement. On remarque que p_A est une fonction décroissante du taux d'intérêt. En effet un taux d'intérêt plus élevé réduit le profit actualisé du monopole et donc le prix des brevets.

8.2 CROISSANCE D'ÉQUILIBRE

On détermine le taux de croissance d'état régulier, puis on met en évidence un piège à convergence dans ce modèle.

8.2.1 Détermination du taux de croissance du côté offre

Calculons le taux de croissance en fonction du capital humain alloué à la recherche. Montrons d'abord qu'il existe une solution d'état régulier pour laquelle le taux de croissance γ est identique pour les variables C, K, Y et A. Les taux de croissance de Y et de A sont égaux d'après la fonction de production de bien final [5]. L'équation (8.4) implique l'égalité des taux de croissance de A et de K. Enfin, le taux de croissance de C est identique à celui de K et Y. En effet puisque Y - C = DK, en divisant par K, comme DK/K est constant et égal à γ, que le rapport Y/K est constant (puisque K et Y croissent au même taux), on en déduit la constance de C/K. Les taux de croissance de C et de K sont donc égaux à l'état régulier. On a donc :

γ = DC/C = DY/Y = DK/K = DA/A = $\delta\ H_A$ (8.12)

Le taux de croissance d'état régulier est d'autant plus élevé que la part du capital humain consacré à la recherche est plus élevée. Cherchons donc comment celle-ci est déterminée.

Le partage du capital humain est contraint par : $H = H_Y + H_A$. Les détenteurs de capital humain décident de son affectation (recherche ou production) en considérant A, p_A et w comme donnés. A l'équilibre, la productivité marginale du capital humain doit être la même dans tous les secteurs. Les productivités marginales en valeur du capital humain (exprimées en unités de bien final) sont respectivement égales à :

$PmH_{\text{Bien final}} = \alpha H_Y^{\alpha-1} L^{\beta} \int_0^A x^{1-\alpha-\beta}\, di$ et $PmH_{\text{Recherche}} = p_A\ \delta A$.

À l'équilibre, on a l'égalité : $p_A\,\delta\, A = \alpha H_Y^{\alpha-1} L^{\beta}\ A x^{1-\alpha-\beta}$ (8.13)

[5]En effet, H, L et x sont constants ; on en déduit que H_Y ne peut croître, en régime permanent, qu'à taux nul.

On connaît la valeur d'équilibre du prix p_A des brevets (équation 8.11) et celle de x (équation 8.7). On en déduit la part H_Y du stock de capital humain imputée à la production de bien final :

$$H_Y = \frac{\alpha r}{\delta(1-\alpha-\beta)(\alpha+\beta)} \quad (8.14)$$

Le partage de H dépend donc des paramètres et de la variable r. Un taux d'intérêt, r, plus élevé suscite une modification du partage du stock de capital humain entre le secteur des biens finals et celui de la recherche au détriment de ce dernier. Ceci s'explique par le fait qu'un taux d'intérêt plus élevé réduit la valeur actualisée du flux de revenu issu de la location du bien d'équipement et, par voie de conséquence, réduit aussi le prix de vente p_A du brevet d'exploitation correspondant. La productivité marginale du capital humain dans le secteur de la recherche diminue : on déplace alors du capital humain vers le secteur des biens finals.

On obtient une relation d'offre « croissance - taux d'intérêt ». Puisqu'une hausse du taux d'intérêt induit une baisse de H_A (part du capital humain alloué à la recherche), on en déduit qu'elle suscite aussi un ralentissement de la croissance à l'équilibre. En effet en introduisant (8.14) dans (8.12) on obtient :

$$\gamma = \delta H_A = \delta(H - H_Y) = \delta H - \frac{\alpha r}{(1-\alpha-\beta)(\alpha+\beta)} = \delta H - \lambda r \quad (8.15)$$

où $\lambda = \alpha / (1-\alpha-\beta)(\alpha+\beta)$. Si r augmente, les revenus actualisés issus de la location des biens d'équipement diminuent, ainsi que la rente captée par les chercheurs, l'incitation à la recherche et finalement la croissance.

8.2.2 Bouclage du modèle par le côté demande

On vient de montrer qu'il existe une relation négative entre le taux d'intérêt et le taux de croissance. Il s'agit là d'une relation issue du côté offre. On « boucle » le modèle en intégrant le comportement des consommateurs. Ceux-ci maximisent une fonction d'utilité du type : $\int_0^{+\infty} u(c)e^{-\rho t}dt \text{ avec } u(c) = \frac{c^{1-\sigma}-1}{1-\sigma}$. Il en découle, comme d'habitude, la condition d'optimalité de Ramsey-Keynes : $\frac{Dc}{c} = \frac{r-\rho}{\sigma}$. On en déduit qu'à l'état régulier le taux d'intérêt est constant et vérifie l'égalité : $\frac{r-\rho}{\sigma} = \gamma = \delta H - \lambda r$. On en déduit la valeur d'équilibre du taux d'intérêt :

$$r^{eq} = \frac{\rho + \sigma\delta H}{1+\sigma\lambda} \quad (8.16)$$

Finalement, on déduit la valeur d'équilibre du taux de croissance :

$$\gamma^{eq} = \frac{1}{\sigma}\left[\frac{\rho+\sigma\delta H}{1+\sigma\lambda} - \rho\right] = \frac{\delta H - \lambda\rho}{1+\lambda\sigma} \quad (8.17)$$

Le taux de croissance γ dépend des paramètres α et β représentés par λ. Il dépend des paramètres de préférence pour le présent ρ et σ, de H et enfin de δ.

1) ρ et σ : si les individus deviennent plus patients (baisse de ρ ou baisse de σ), le taux d'intérêt d'équilibre baisse (équation 8.16). Si le taux d'intérêt baisse, la valeur actualisée des flux de revenu issus de la location des biens d'équipement augmente (équation 8.5), le profit que parviennent à s'approprier les chercheurs augmente (équation 8.6), il y a

déplacement de capital humain vers le secteur de la recherche, H_A augmente (équation 8.14), en définitive la croissance augmente.

2) δ : si le paramètre de productivité du capital humain dans le secteur de la recherche augmente, la croissance augmente.

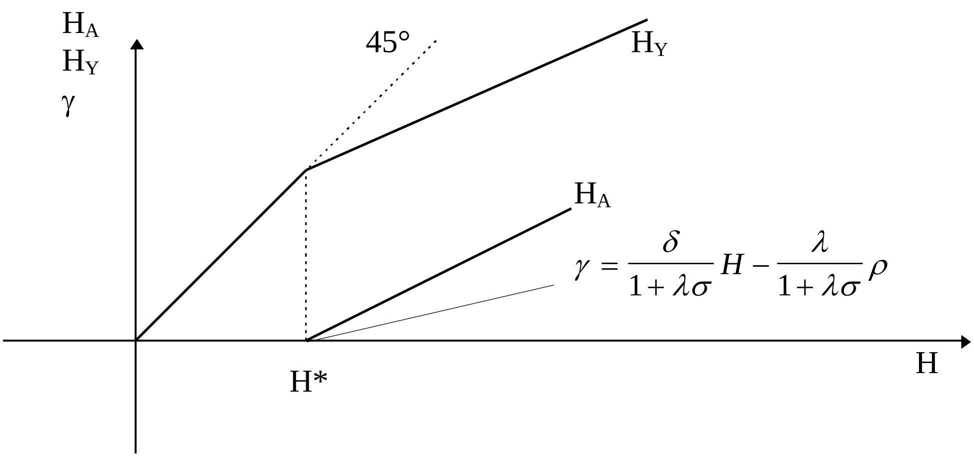
3) H fait apparaître un effet de taille du capital humain, qui, comme on le montrera au chapitre suivant, est une caractéristique importante du modèle de Romer. Une augmentation du stock de capital humain conduit à une augmentation du stock de capital humain affecté au secteur de la recherche, et donc, à une augmentation de la croissance. Mais cet effet croissance ne survient qu'à partir d'un niveau minimal de H comme on va le voir.

8.2.3 Trappe à développement

Le modèle de Romer fait apparaître un piège à développement lié à l'insuffisance du stock global de capital humain. Lorsqu'il y a très peu de capital humain, sa productivité est très importante dans la production du bien de consommation et l'économie n'en affecte pas à la recherche ; il n'y a donc pas de croissance. D'après (12) : $\gamma = \delta H_A$, si aucun capital humain n'est affecté à la recherche, la croissance est nulle.

On illustre le lien précédent entre H et γ sur la figure 8.1 où sont portés le stock global de capital humain en abscisse, le taux de croissance et le stock de capital humain consacré à la recherche et à la production, en ordonnée.

Figure 8.1 : trappe à développement



L'équation du taux de croissance d'équilibre (8.17) montre que γ = 0 lorsque $\delta H = \lambda\rho$.

Il existe donc une valeur minimale H* = $\frac{\lambda.\rho}{\delta}$ telle que la croissance est nulle.

Comme $\gamma = \delta H_A = \delta (H - H_Y)$ on a γ = 0 pour H* = H_Y , dans ce cas H_A est nul.

Pour un niveau global de capital humain inférieur à un certain niveau, la totalité du capital humain est affectée à la production de bien final et il n'y a pas de recherche ; il y a impossibilité de « décoller ». Si le capital humain est insuffisant, il est intégralement affecté à la production de bien final, il n'y a pas de recherche et donc pas de croissance. Au-delà de ce seuil, lorsque H augmente, H_A augmente et, avec lui, le taux de croissance. Romer souligne ce point intéressant largement mis en évidence par les historiens : « la civilisation et donc la croissance ne peuvent démarrer avant que du capital humain puisse être soustrait à la production de biens de consommation immédiate » (p.25).

8.3 CROISSANCE OPTIMALE

La croissance d'équilibre n'est pas optimale. Nous expliquons quelles sont les défaillances du marché, puis nous calculons le taux de croissance optimal. Il est supérieur au taux de croissance d'équilibre. Dans la section suivante nous corrigerons ces défaillances.

8.3.1 Les défaillances du marché

Le capital humain alloué à la recherche (H_A^{EC}) à l'équilibre décentralisé est trop faible. Il en va de même du taux de croissance. A cela deux raisons :

1) l'activité de recherche induit des effets externes positifs.

Le chercheur ne vend son idée qu'au secteur de production de biens intermédiaires, pas au secteur de la recherche. Cette hypothèse traduit la réalité selon laquelle les brevets d'exploitation fournissent une description complète des innovations. Les nouvelles idées sont ainsi « offertes gratuitement » aux chercheurs futurs.

On sait que l'allocation d'équilibre du capital humain est celle qui égalise au taux de salaire, les productivités marginales du capital humain dans les deux secteurs qui l'utilisent :

($PmH_{Recherche}$ = $p_A * \delta A = w = \alpha H_Y^{\alpha-1} L^{\beta} A x^{1-\alpha-\beta}$ = $PmH_{Bien\ final}$).

Mais la véritable productivité marginale du capital humain dans le secteur de la recherche est plus élevée que le salaire, car le prix d'équilibre du brevet (p_A* = $\dfrac{\alpha+\beta}{1-\alpha-\beta}\eta x$) n'intègre qu'une partie de la valeur sociale de la recherche.

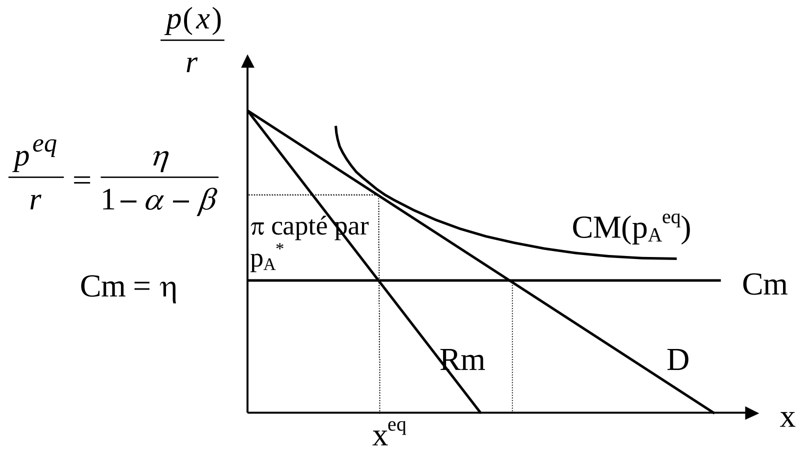
La recherche actuelle a un effet positif sur la productivité marginale du capital humain dans la recherche future, elle a des effets de diffusion. A chaque fois qu'il y a une innovation, c'est-à-dire chaque fois que A augmente, la productivité marginale en valeur ($p_A \delta A$) de la recherche augmente. Lorsqu'un chercheur fait une découverte, elle bénéficie à la recherche future. Si l'innovateur a un droit de propriété sur l'utilisation de son invention dans la production de biens d'équipement, il n'en a pas sur son utilisation dans la recherche.

Le prix des brevets n'intègre pas les externalités positives de la recherche. Il est ***pour cette raison*** trop faible. S'il les intégrait, il serait plus élevé et la productivité marginale du capital humain dans la recherche serait plus élevée. Il y aurait alors un transfert de capital humain vers ce secteur et le taux de croissance serait plus élevé.

2) le fruit de la recherche est utilisé par un monopole qui produit insuffisamment.

Le monopole (producteur de bien d'équipement) loue son propre produit x sur une période infinie au loyer : $p^{eq} = \dfrac{\eta r}{1-\alpha-\beta}$, ce qui équivaut à un prix de vente définitif (ou loyer actualisé): $\dfrac{p^{eq}}{r} = \dfrac{\eta}{1-\alpha-\beta}$ déterminé sur la courbe de demande actualisée $\dfrac{p^d(x)}{r}$. À l'instant t = 0 le calcul d'optimisation du monopole de bien x et du chercheur peut s'illustrer par la figure 8.2 de l'équilibre monopolistique (on suppose la demande actualisée linéaire) :

Figure 8.2 : l'équilibre monopolistique du producteur de bien x



Chaque producteur de biens d'équipement, en monopole sur le marché de son output exploite la courbe de demande individuelle actualisée (D) qui émane du secteur du bien final. Les chercheurs qui sont eux aussi en monopole sur le marché de leur produit (les brevets d'exploitation) déterminent le prix de vente p_A* de ces brevets de telle sorte que celui-ci annule le profit du monopole. La courbe CM(p_A*) est la courbe de coût moyen supporté par un producteur de biens d'équipement quand le prix du brevet est p_A*. Le coût total supporté par un producteur de biens d'équipement est composé d'un coût fixe p_A* et d'un coût variable η.x. Le coût total est : CT(x) = p_A*+ηx. Le coût moyen est : CM(x) = $\frac{p_A}{x} + \eta$. Le coût marginal est : Cm(x) = η < $\frac{p^{eq}}{r} = \frac{\eta}{1-\alpha-\beta}$, il est inférieur au loyer actualisé. Le terme $(1/1-\alpha-\beta)$ est le taux de marge du monopole par rapport au coût marginal puisque $(-\alpha-\beta)$ est l'élasticité prix de la demande de biens intermédiaires de la part des producteurs du bien final. Cette situation non optimale est bien connue, mais pourquoi implique t-elle que le capital humain alloué à la recherche est trop faible ?

Le problème posé vis à vis de la sous-allocation du capital humain à la recherche est celui ci : l'incitation à la recherche (p_A*) est une fonction croissance de x^{eq} la quantité produite de biens d'équipement à l'équilibre. Or un monopole produit une quantité x^{eq} qui est trop faible, inférieure à la quantité socialement optimale, $\hat{x}$, qui est déterminée par la rencontre du coût marginal et de la demande. Il en résulte que le prix du brevet ($p_A{*} = \frac{\alpha+\beta}{1-\alpha-\beta}\eta\, x^{eq}$) est ***pour cette raison*** trop faible pour inciter à faire suffisamment de recherche. Bien sûr en concurrence parfaite la quantité produite de x serait optimale $\hat{x}$, mais il n'y aurait plus de profit et donc plus aucune incitation à la recherche. L'idée importante du modèle de Romer est le dilemme qui consiste à ce que, pour rémunérer la recherche, il faut qu'il existe des monopoles, mais les monopoles produisent insuffisamment, donc sollicitent peu la production de recherche.

Comment régler un tel dilemme ? C'est ce que nous verrons dans la section 4, mais pour ce faire, il nous faut déterminer d'abord la solution optimale.

8.3.2 Détermination du taux de croissance optimal

L'optimum est obtenu en choisissant le niveau optimal de capital humain alloué à la recherche (H_A^{opt}). A la différence des agents décentralisés, le dictateur bienveillant internalise deux choses : 1) la contrainte d'accumulation de connaissances DA = $\delta H_A A$; 2) alors que pour la détermination de l'équilibre décentralisé, les agents considéraient la variable de choix x_i dans leur fonction de production microéconomique, le dictateur bienveillant utilise l'équation d'équilibre macroéconomique (8.1') et donc la variable de choix x. Ainsi il internalise le fait que x est lié à K et A par la relation macroéconomique : K = ηxA => x = K/ηA. En résumé, il considère la fonction de production macroéconomique :

$$Y = H_Y^\alpha L^\beta A x^{1-\alpha-\beta} = H_Y^\alpha L^\beta A K^{1-\alpha-\beta} \eta^{\alpha+\beta-1} A^{\alpha+\beta-1} = (AH_Y)^\alpha (AL)^\beta \left(\frac{K}{\eta}\right)^{1-\alpha-\beta} .$$

On retrouve un modèle « à la Solow » avec une Cobb-Douglas amendée d'un progrès technique neutre au sens de Harrod. Le paramètre de productivité (A), croit à taux constant (δH_A) et améliore l'efficacité du travail (H_Y et L). La différence par rapport au modèle de Solow est que le dictateur choisit ici le niveau H_A qui détermine le taux de croissance du progrès technique. De façon centralisée il s'agit de résoudre le problème :

$$\underset{C,H_A}{Max} \int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \frac{C(t)^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} dt \qquad \text{sous les contraintes :}$$

de dotation constante en capital humain : $H_Y + H_A = H.$

d'accumulation de connaissances : $DA = \delta H_A A.$

d'accumulation de capital : $DK = (H - H_A)^\alpha L^\beta A^{\alpha+\beta} K^{1-\alpha-\beta} \eta^{\alpha+\beta-1} - C .$

Les variables de contrôle étant C et H_A, les variables d'état étant K et A, (K_0 et A_0 donnés).

Le Hamiltonien est :

$$H = e^{-\rho t} \frac{C^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} + \lambda_1 \left[(H - H_A)^\alpha L^\beta A^{\alpha+\beta} K^{1-\alpha-\beta} \eta^{\alpha+\beta-1} - C \right] + \lambda_2 . \delta H_A A$$

où λ_1 et λ_2 sont les prix implicites actualisés du capital et des connaissances.

Le taux de croissance optimal est (voir annexe A) :

$$\gamma^{opt} = \frac{\delta H - \theta \rho}{\theta \sigma + 1 - \theta} \quad avec \quad \theta = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \tag{8.18}$$

Le taux de croissance optimal est supérieur au taux de croissance décentralisé (8.17)

$$\gamma^{eq} = \frac{\delta H - \lambda \rho}{1 + \lambda \sigma} \quad avec \quad \lambda = \frac{\alpha}{(1-\alpha-\beta)(\alpha+\beta)} .$$

Pour les deux raisons précédemment évoquées :

1) $\lambda \rangle \theta$, $\lambda = t.\theta$ où $t = 1/(1-\alpha-\beta)$ est le taux de marge monopolistique,

2) le terme $(-\theta)$ au dénominateur du taux de croissance optimal reflète la correction des effets externes associés à l'activité de recherche.

8.4 POLITIQUES ÉCONOMIQUES

Pour fixer les idées, on propose une calibration du modèle. Nous retenons les valeurs suivantes pour les paramètres :

α	β	ρ	σ	δ	H	λ calculé	θ calculé
0,4	0,3	0,02	2	0.2	1	1,9	0,57

On en déduit les valeurs suivantes des variables :

$r^{eq} = \dfrac{\rho+\sigma\delta H}{1+\sigma\lambda} = 0{,}0875$ $\qquad$ $r^{opt} = \dfrac{(1-\theta)\rho+\sigma\delta H}{(1-\theta)+\sigma\theta} = 0{,}26$

$\gamma^{eq} = \dfrac{\delta H-\lambda\rho}{1+\sigma\lambda} = 0{,}03375$ $\qquad$ $\gamma^{opt} = \dfrac{\delta H-\theta\rho}{(1-\theta)+\sigma\theta} = 0{,}12$

$H_Y^{eq} = \dfrac{\lambda}{\delta} r^{eq} = 0{,}833$ $\qquad$ $H_Y^{opt} = (1 - H_A^{opt}) = 0{,}4$

$H_A^{eq} = (1 - H_y^{eq}) = 0{,}166$ $\qquad$ $H_A^{opt} = \dfrac{(\alpha+\beta)\delta H-\alpha\rho}{\delta(\beta+\alpha\sigma)} = 0{,}6.$

On constate que le taux de croissance centralisé est considérablement plus élevé et cela parce que le dictateur choisit une valeur beaucoup plus élevée pour H_A que les agents décentralisés. Implicitement le dictateur détermine un taux de rendement beaucoup plus élevé.

Nous allons montrer quelles politiques permettent d'obtenir de façon décentralisée le taux de croissance optimal. Nous discutons ensuite d'autres politiques sur lesquelles ce modèle apporte un éclairage intéressant.

8.4.1 Correction des distorsions

Puisqu'il y a dans ce modèle deux distorsions (un monopole et une externalité), leur correction complète nécessite l'utilisation de deux politiques économiques : une subvention à l'achat des biens d'équipement, pour supprimer la distorsion de la tarification monopolistique et une subvention à la recherche pour internaliser l'externalité.

1) Subvention à l'achat des biens intermédiaires dans le secteur du bien final

Celle-ci vise à supprimer l'effet de la tarification de monopole. Bien sûr, il ne faut pas obliger le monopole à vendre au coût marginal la quantité d'équilibre concurrentiel $\hat{x}$. Comme le soulignait Schumpeter, dans ce cas il n'y aurait pas de profit, donc pas de recherche et en définitive pas de croissance. Le gouvernement doit faire en sorte que le monopole produise la quantité optimale déterminée par la rencontre du coût marginal et de la demande, sans pour autant éliminer l'incitation à la recherche que constitue le profit du monopole, au contraire, il doit l'augmenter. La solution est de subventionner l'achat du bien (x) au taux $1-\alpha-\beta$, en finançant celle-ci par un impôt forfaitaire. Le prix effectif d'achat devient alors $\hat{p}(x)=(1-\alpha-\beta)\,p(x)^{eq}$ pour chaque unité de (x). A ce prix les producteurs de bien final demandent donc la quantité :

$$\hat{x}=\left[\frac{\eta r}{(1-\alpha-\beta)^2 H_Y^{\alpha}L^{\beta}}\right]^{-\frac{1}{\alpha+\beta}} \quad > \quad x^{eq}=\left[\frac{\eta r}{(1-\alpha-\beta)^2 H_Y^{\alpha}L^{\beta}}\right]^{-\frac{1}{\alpha+\beta}} \qquad (8.19)$$

Le prix de vente est toujours $p^{eq} = \dfrac{\eta r}{1-\alpha-\beta}$ où $\dfrac{1}{1-\alpha-\beta}$ est le taux de marge du monopole.

Le niveau des ventes plus élevé augmente les profits du monopole et donc le prix du brevet : $\hat{p}_A=(\alpha+\beta)\dfrac{\eta\,\hat{x}}{1-\alpha-\beta}$. Puisque ce prix augmente il va y avoir plus de capital humain consacré à la recherche par les mécanismes décentralisés.

Comme on l'a vu, les comportements décentralisés conduisent à choisir H_A, ou de façon équivalente le H_Y, qui égalise :

$$\text{PmH}_{\text{Recherche}} = p_A \delta A = w = \alpha H_Y^{\alpha-1} L^{\beta} A x^{1-\alpha-\beta} = \text{PmH}_{\text{Bien final}}$$

En subventionnant l'achat des biens d'équipement au taux $(1-\alpha-\beta)$, le profit devient :

$\hat{\pi} = \hat{p}_A.\delta H_A A - wH_A$

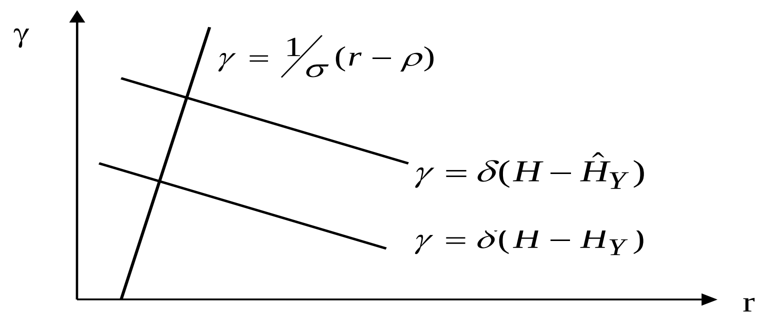
Les comportements concurrentiels conduisent désormais à choisir le H_Y, qui égalise :

$$\text{PmH}_{\text{Recherche}} = \hat{p}_A \delta A = w = \alpha H_Y^{\alpha-1} L^{\beta} A \hat{x}^{1-\alpha-\beta} = \text{PmH}_{\text{Bien final}}$$

L'égalisation des salaires des deux secteurs va conduire de façon décentralisée à une détermination de H_Y plus faible, égale à $\hat{H}_Y = \dfrac{\alpha r}{\delta(\alpha+\beta)}$ (8.20)

(en comparant à 8.14, on voit que $\hat{H}_Y < H_Y$) et donc comme le montre la figure 8.3, à un taux de rendement et de croissance d'équilibre plus élevé égal à $\hat{r} = \dfrac{\rho + \sigma \delta H}{1+\sigma\theta}$ et $\hat{\gamma} = \dfrac{\delta H - \theta\rho}{1+\sigma\theta}$.

Figure 8.3 : effet d'une subvention à l'achat des biens intermédiaires



L'augmentation du taux de croissance provient de la hausse de r qui provient de la baisse de H_Y (équivalente à la hausse de H_A). Mais la baisse de H_Y que l'on vient de réaliser par cette politique de subvention n'est pas suffisante puisque l'autre distorsion (l'externalité de la recherche) n'est pas, pour l'instant, corrigée. On remarque que le taux de croissance $\hat{\gamma}$ n'est pas égal à γ^{opt}. Ces deux taux diffèrent par le terme $(-\theta)$ au dénominateur qui reflète la correction des effets externes qui nous restent à corriger.

2) Subvention à la recherche

Pour internaliser l'externalité, le gouvernement doit pratiquer une politique de subvention à la R&D, financée par impôt forfaitaire. Cette politique va encore modifier le partage du capital humain entre H_A et H_Y (équation 8.14) en faveur de H_A moteur de la croissance.

L'objectif des chercheurs privés est de maximiser par rapport à H_{jA} leur profit individuel : $\pi = p_A.\delta H_A A - wH_A$. Les chercheurs privés font un arbitrage pour affecter leur capital humain entre H_Y et H_A. Ce calcul internalise le fait que plus de H_A implique plus d'idées produites (DA) et donc plus de profit, mais n'internalise pas le fait que plus d'idées produites va augmenter le stock d'idées (A) et donc la productivité marginale future du capital humain. Ils sous-évaluent la valeur du capital humain marginal affecté à la recherche ($p_A \delta$ A).

Comme on vient de le montrer, si on subventionne l'achat des biens d'équipement, le profit des chercheurs devient $\hat{\pi} = \hat{p}_A.\delta H_A A - wH_A$ et les comportements décentralisés conduisent à un $\hat{H}_Y$, qui égalise :

$$\text{PmH}_{\text{Recherche}} = \hat{p}_A \,\delta\, A = w = \alpha\, \hat{H}_Y^{\alpha-1} L^{\beta}\, A \hat{x}^{1-\alpha-\beta} = \text{PmH}_{\text{Bien final}}$$

En subventionnant l'achat des biens d'équipement, p_A augmente mais pas suffisamment pour déterminer le H_Y optimal, $\hat{H}_Y > H_Y{}^{opt}$.

En subventionnant la recherche au taux (1+s) le profit devient : $\hat{\pi}' = (1+s)\,\hat{p}_A.\delta H_A A - wH_A$
Les comportements concurrentiels conduisent alors à choisir le (H_Y) qui égalise :

$$\text{PmH}_{\text{Recherche}} = (1+s)\,\hat{p}_A \,\delta\, A = w = \alpha\, \tilde{H}_Y^{\alpha-1} L^{\beta}\, A \hat{x}^{1-\alpha-\beta} = \text{PmH}_{\text{Bien final}}$$

L'égalisation des salaires des deux secteurs va conduire de façon décentralisée à une détermination de H_Y plus faible, égale à $\tilde{H}_Y = \dfrac{\alpha\, r}{\delta\,(\alpha+\beta)(1+s)}$ et donc à un taux de rendement plus élevé, égal à $\tilde{r} = \dfrac{(1+s)(\rho+\sigma\,\delta\, H)}{(1+s)+\sigma\theta}$ et enfin à une hausse de la croissance.

On peut alors calculer que le taux de subvention qui permet d'obtenir les valeurs optimales $H_Y{}^{opt}$ et r^{opt} est : $(1+s) = \dfrac{(1-\theta)\rho + \delta H \sigma}{\rho + \delta H(\sigma - 1)}$.

Ce qui donne pour les valeurs retenues des paramètres un taux : (1+s) = 1,857.

8.4.2 Discussion d'autres politiques

Dans l'introduction de ce chapitre, on a évoqué le changement de paradigme que constitue le modèle de Romer. Cette révolution nous amène à reconsidérer la vieille idée selon laquelle la politique économique de croissance consiste *grosso modo* à favoriser l'accumulation du capital. A cet égard, il est intéressant de montrer la non-efficacité de l'aide à l'investissement dans le secteur intermédiaire. Une politique de subvention à l'investissement, financée par impôt forfaitaire, est modélisable par une baisse du η. Une baisse de η diminue les coûts pour le monopoleur et augmente la production de (x). Une telle politique a un effet niveau, mais est sans effet sur le taux de croissance. On comprend que η n'intervienne pas dans l'expression du taux de croissance puisque celle-ci ne provient pas d'une hausse de la quantité utilisée de bien intermédiaire mais d'une augmentation de leur nombre. La baisse du coût de production du capital n'a donc pas d'effet dynamique. Le modèle de Romer souligne ainsi qu'il ne faut pas confondre le stock de capital (K) et sa qualité mesurée par la diversité (A) comme le font les autres modèles de croissance (voir exercice D7 en annexe D).

Une autre façon de voir cela, est de constater que la baisse de η accroît simultanément les productivités du capital humain dans la recherche, dans la production de bien final (celle des ingénieurs et des gestionnaires) (équation 8.13) et par conséquent ne modifie pas le partage du capital humain entre H_A et H_y (équation 8.14) en faveur de H_A moteur de la croissance.

Le modèle de Romer souligne ainsi, qu'il ne faut pas confondre, subvention à l'investissement en capital physique et subvention à la recherche. Romer écrit avec humour : « Si le problème fondamental est que nous avons trop de juristes et de gestionnaires et pas assez d'ingénieurs, une subvention à l'accumulation du capital physique est un remède peu efficace ».

Dans un ordre d'idée assez voisin, le modèle de Romer permet de reconsidérer la théorie du big push. On peut mettre en évidence la justification d'une intervention de politique économique pour faire décoller les pays en voie de développement. Le problème du seuil nécessaire en capital humain pour assister au démarrage de la croissance montre l'intérêt d'une intervention pour initier le processus de croissance. Le seuil nécessaire est moindre dans le cas de la solution centralisée, lorsque les distorsions sont corrigées.

$$H^{MIN\ (EC)} = \frac{\lambda.\rho}{\delta} = 0{,}19 \quad > \quad H^{MIN\ (OPT)} = \frac{\theta.\rho}{\delta} = 0{,}057\ .$$

En utilisant les valeurs des paramètres, on voit qu'en économie centralisée le démarrage de la croissance peut se réaliser avec un seuil de capital humain trois fois moindre. Le modèle de Romer insiste sur le fait que le problème du sous-développement est peut être plus lié à un problème de manque de capital humain qu'à un problème de manque de capital physique comme le présupposent les politiques de big push.

Conclusion

La croissance dans ce modèle est due à l'augmentation du stock de connaissance. L'intérêt du modèle réside dans l'endogénéisation du progrès technique par le secteur de R&D. La recherche est rémunérée parce qu'on se place en concurrence imparfaite, mais elle reste insuffisamment rémunérée pour tenir compte des externalités dynamiques qu'elle engendre et par le fait même que l'on se trouve en concurrence imparfaite. Les monopoles qui permettent de rémunérer la recherche produisent, comme on le sait, insuffisamment, donc sollicitent insuffisamment la production de recherche. Comme il y a par construction deux distorsions, il faut mener deux politiques décentralisées pour atteindre l'optimum. Il faut subventionner l'achat des biens d'équipement, les acheteurs en achètent plus, cela augmente les profits des monopoles et donc les gains capturés par les chercheurs qui affectent plus de capital humain à la recherche. Cette politique de subvention à l'achat des biens qui résultent d'innovations, est la véritable originalité, en matière de recommandation de politique économique, du modèle de Romer. Mais cette politique est insuffisante pour que le capital humain affecté à la recherche soit optimal. Il faut également pour internaliser les externalités de la recherche subventionner directement la recherche.

Le taux de croissance d'équilibre est lié positivement à l'importance du stock global de capital humain dès lors qu'un certain seuil est dépassé. L'effet de taille du capital humain fait que deux économies identiques connaissent en économie fermée un taux de croissance plus faible que celui qu'elles pourraient atteindre en économie ouverte. Le modèle de Romer fournit une justification théorique des politiques d'intégration. C'est ce que nous allons examiner.