# Introduction à l'Économie

## Chapitre XXX Macroéconomie : la croissance

Renaud Bourlès Nicolas Clootens

*Centrale Marseille*
*Aix-Marseille School of Economics*

2021-2022

# De la théorie de la croissance à celle de la croissance endogène

Nous avons vu la semaine passée le modèle de Solow, qui

- permet de reproduire les faits stylisés
- explique la croissance par le progrès technique
- mais n'explique pas ce progrès technique

Les économistes se sont donc attaqués au défi d'expliquer la croissance, et en particulier d'expliquer le progrès technique. Ce champs de l'analyse économique est regroupé dans ce que l'on appelle la théorie de la croissance endogène

C'est l'objet de ce cours de comprendre leur démarche

# Modéliser la technologie

En sciences économiques, la technologie représente la manière dont sont combinés les intrants pour produire l'output

Une façon simple de le modéliser est de prendre une fonction de production Cobb-Douglas

$$Y_t = F(K_t, L_t) = K_t^{\alpha}(A_t L_t)^{1-\alpha}$$

Une augmentation de $A_t$ à un niveau $A_t' > A_t$ peut alors être appelé progrès technique : il s'agit d'une modification de la fonction de production permettant de produire autant avec une même quantité de facteurs de production

Nous avons supposé cette augmentation comme exogène jusqu'à maintenant

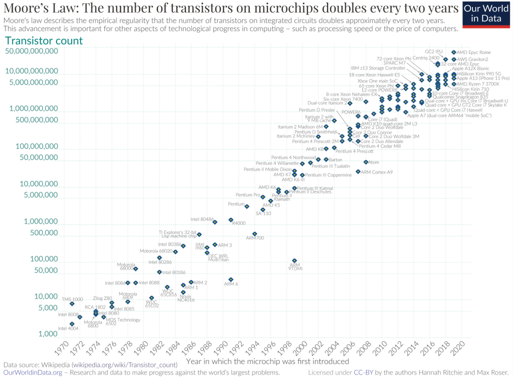
Centrale Marseille

# Le rôle des idées

Les idées permettent d'améliorer le processus de production. Elles permettent de combiner les facteurs de production plus efficacement

Exemples :

- images et oxyde de fer : de Neandertal à l'appareil photo
- loi de Moore (ci contre)
- éclairage (coût de la lumière divisé par 4000 en 2 siècles)
- McDonald's
- Chaines de montage




Centrale Marseille

# L'économie des idées : le degré d'exclusivité

Les idées sont des biens non-rivaux

En revanche leur degré d'exclusivité varie

Lorsqu'un bien est non-exclusif tout le monde peut en bénéficier et les bénéfices se dispersent.

- Par exemple, si les USA mettent en place un bouclier antimissile de 10km de rayon autour de la maison blanche
- la maison blanche sera protégée des missiles
- ainsi que tous les habitants du périmètre

Cette diffusion des bénéfices est appelée une externalité positive

Comme vu dans la partie d'économie publique, les biens générant des externalités positives sont produits en quantité insuffisante par le marché

# L'économie des idées : la non-rivalité et les rendements d'échelle croissants

Les biens rivaux doivent être produits à chaque fois qu'ils sont consommés

Les biens non-rivaux tels que les idées ne doivent être produits qu'une seule fois

- Ex : produire le premier exemplaire d'un jeu vidéo est très coûteux, produire les 100000 suivants est très peu coûteux (il suffit de copier-coller des fichiers 100000x)
- Produire la première ampoule électrique a nécessité beaucoup de temps et d'ingéniosité. Une fois que le prototype marchait, la suite était beaucoup plus simple

On voit dès lors apparaitre des rendements croissants $(F(\lambda K, \lambda L) > \lambda F(K, L) \forall \lambda > 1)$

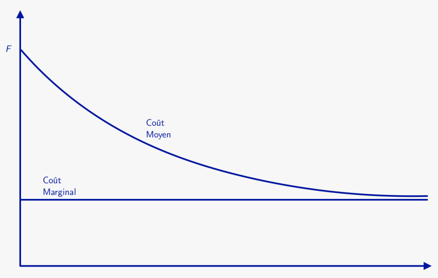
Il y a un coût fixe initial puis un coût variable a peu près constant

Centrale Marseille

# L'économie des idées : la non-rivalité et les rendements d'échelle croissants

Dans le marché concurrentiel, il a été vu que l'efficacité économique est atteinte pour $P = Cm$

Mais en présence de rendements d'échelle croissants, $CM(q) > Cm(q) \forall q$
$\Rightarrow$ une tarification au coût marginal générerait des pertes pour l'entreprises




Cela explique le prix élevé des médicaments, des logiciels, des vaccins, etc... qui sont bien au dessus du coût marginal de production

Si on laissait la concurrence opérer, alors on arriverait à $p = Cm$ et l'entreprise ayant fait la découverte disparaitrait $\Rightarrow$ il faut protéger le fruit de la recherche !

# L'économie des idées : la non-rivalité et les rendements d'échelle croissants

On attribue souvent le début de la croissance économique à l'essor du charbon comme énergie.

Selon Douglas North (Nobel 1993), cela vient en réalité du développement des droits de propriété intellectuelle

En permettant aux inventeurs de tirer profit de leurs inventions, les droits de propriété intellectuelle auraient stimulé l'innovation

- Ex : Le problème de la longitude en navigation
- Dans cet exemple, le marché n'était pas présent et était compensé par un prix
- Un prix peut être un palliatif insuffisant au manque de protection de propriété intellectuelle

# L'économie des idées : la non-rivalité et les rendements d'échelle croissants

On attribue souvent le début de la croissance économique à l'essor du charbon comme énergie.

Selon Douglas North (Nobel 1993), cela vient en réalité du développement des droits de propriété intellectuelle

En permettant aux inventeurs de tirer profit de leurs inventions, les droits de propriété intellectuelle auraient stimulé l'innovation

- Ex : Le problème de la longitude en navigation
- Dans cet exemple, le marché n'était pas présent et était compensé par un prix
- Un prix peut être un palliatif insuffisant au manque de protection de propriété intellectuelle

# Le modèle de Romer

Paul Romer (Nobel 2018) a intégré les innovations technologiques dans les modèles de croissance de long terme

Le modèle est micro fondé (liens forts avec la partie micro du cours)

Le progrès technique est supposé endogène et suit les mécanismes précédemment décrits

- la motivation de profit, permise par la protection des idées, stimule l'innovation

3 secteurs :

- La recherche
- Le bien intermédiaire
- Le bien final (prix normalisé à 1 pour simplifier)

# Production du bien final

On considère un grand nombre d'entreprises concurrentielles qui produisent un bien $Y$. Comme elles sont homogènes, on considère une entreprise représentative

$$Y_t = L_{Y,t}^{1-\alpha} \int_0^{A_t} x_{j,t}^{\alpha} dj$$

où les $x_{j,t} \in [0, A_t]$ représentent une variété de capital utilisée ($A$ est ainsi l'ensemble des biens intermédiaires disponibles pour produire le bien), et $L_Y$ représente le nombre de travailleurs engagés dans la production du bien final

Progrès technique dans ce modèle = augmentation de $A$

Les entreprises maximisent leur profit qui s'écrit

$$Y_t = L_{Y,t}^{1-\alpha} \int_0^{A_t} x_{j,t}^{\alpha} dj - w_t L_{Y,t} - \int_0^{A_t} x_{j,t} p_{j,t} dj$$

On en déduit :

$$w_t = (1-\alpha)\frac{Y_t}{L_{Y,t}}$$

$$p_{j,t} = \alpha L_{Y,t}^{1-\alpha} x_{j,t}^{\alpha-1}$$

# Production des biens intermédiaires

Chaque firme du secteur produit une variété de bien intermédiaire et est en monopole sur la production de ce bien. Chaque unité de capital brut $K_t$ permet de produire une unité de bien intermédiaire (l'accumulation de $K$ se fait à la Solow)

Elle maximise le profit $\pi_{j,t} = p_{j,t}(x_{j,t})x_{j,t} - r_t x_{j,t}$ avec $p_{j,t}(x_{j,t})$ est la demande de bien intermédiaire calculée précédemment

On en déduit

$$p'_{j,t}(x_{j,t})x_{j,t} + p_{j,t}(x_{j,t}) - r_t = 0$$

et donc

$$p_{j,t} = \frac{1}{1 + \frac{p'_{j,t}(x_{j,t})x_{j,t}}{p_{j,t}(x_{j,t})}} r_t$$

Or $\frac{p'_{j,t}(x_{j,t})x_{j,t}}{p_{j,t}(x_{j,t})}$ est l'élasticité prix de la demande et vaut $\alpha - 1$

Au final, on en déduit que $p_{j,t} = \frac{1}{\alpha} r_t$

On en déduit que le prix de tous les biens intermédiaires est le même, et donc que les quantités consommées sont les mêmes

# Production des biens intermédiaires

La demande totale de capital brut ne peut pas excéder le stock de capital disponible dans l'économie $\Rightarrow \int_0^{A_t} x_{j,t} dj = K_t$

Puisque toutes les firmes produisent une quantité $x_t$, elles demandent

$$x_t = \frac{K_t}{A_t}$$

On peut donc réécrire la fonction de production de bien final ainsi :

$$Y_t = A_t L_{Y,t}^{1-\alpha} x_t^{\alpha}$$

et donc

$$Y_t = K_t^{\alpha} (A_t L_{Y,t})^{1-\alpha}$$

# Le secteur de la recherche

Dans ce modèle, une idée = une variété supplémentaire $x$ dont le brevet peut être vendu au secteur des biens intermédiaires

$$\dot{A}_t = \kappa L_{A,t}^{\lambda} A_t^{\phi}$$

avec $\phi \leq 1$ et $0 \leq \lambda \leq 1$

Hypothèse sur les paramètres :

- $\phi > 0$ la productivité de la recherche augmente avec les connaissances actuelles « standing on the shoulders of giants »(Newton)
- $\phi < 0$ la productivité de la recherche baisse avec les connaissances actuelles : on fait d'abord les découvertes les plus faciles, puis cela devient plus dur d'extraire de nouvelles idées
- $\phi = 0$ les deux se compensent
- $0 < \lambda < 1$ si on double le nombre de chercheurs, le nombre de découvertes fait moins que doubler (plusieurs équipes sur la même thématique).

Dans la suite nous suivrons Romer et supposerons ($\phi = \lambda = 1$)

Centrale Marseille

# Le secteur de la recherche

Lorsqu'une idée apparaît, un brevet est attribué à l'inventeur

Combien est prêt à payer un agent pour racheter le brevet à son inventeur ? La réponse est simplement la valeur actualisée des bénéfices qu'il pourra en tirer.

Soit $P_{A,t}$ le prix du brevet, on peut obtenir la condition de non-arbitrage suivante

$$r_t P_{A,t} = \pi_t + \dot{P}_{a,t}$$

que l'on peut réécrire

$$r_t - \frac{\dot{P}_{A,t}}{P_{A,t}} = \frac{\pi_t}{P_{A,t}}$$

Sur un sentier de croissance équilibré, $r$ est constant, de même que $\frac{\dot{P}_A}{P_A} \Rightarrow \frac{\pi}{P_A}$ doit être constant.

Comme, sur un tel sentier $\dot{\pi}/\pi = n$,

$$P_A = \frac{\pi}{r - n}$$

# Trouver $L_A$ et $L_Y$

Nous allons encore utiliser une condition de non-arbitrage

Dans ce modèle simplifié, les travailleurs ont le choix entre travailler

- dans la recherche et toucher un salaire $w_R = \kappa A^{\phi} P_A$
- dans la production du bien final et toucher un salaire $w_Y = (1-\alpha)\frac{Y}{L_Y}$

Condition de non arbitrage :

$$(1-\alpha)\frac{Y}{L_Y} = \kappa A \frac{\pi}{r-n}$$

$$\Rightarrow (1-\alpha)\frac{Y}{L_Y} = \kappa A \frac{\alpha(1-\alpha)Y/A}{r-n}$$

$$\Rightarrow \frac{A}{L_Y} = \frac{\alpha\kappa A}{r-n}$$

$$\text{Or } \frac{\dot{A}}{A} = \kappa L_A \Rightarrow \frac{L_A}{L_Y} = \frac{\alpha g_A}{r-n}$$

Si $s_r = \frac{L_A}{L_A+L_Y}$ désigne la part de chercheurs dans la population, alors :

$$s_R = \frac{1}{1+\frac{r-n}{\alpha g_A}}$$

# Résumé :

Nous avons le modèle suivant :

$$
\begin{aligned}
Y_t &= K_t^{\alpha}(A_t L_{Y,t})^{1-\alpha} \\
\dot{K}_t &= s_K Y_t - \delta K_t \\
\frac{\dot{L}_t}{L_t} &= n \\
L_{Y,t} + L_{A,t} &= L_t \\
\dot{A}_t &= \kappa L_{A,t}^{\lambda} A_t^{\phi}, \text{ avec } \phi = \lambda = 1
\end{aligned}
$$

et nous avons détaillé les fondements (microéconomiques) de ces équations et de la détermination de $L_A$ et $L_Y$

Études la croissance dans le modèle de Romer

# La croissance

En notant $h = H/L$ les variables par tête, on a, sur un sentier de croissance équilibrée

$$g_y = g_k = g_A$$

Preuve (comme dans le modèle de Solow) :

$$y = k^{\alpha} A(1-\alpha)$$

$$\frac{\dot{K}}{K} = s_K \frac{Y}{K} - \delta$$

$$\frac{\dot{K}}{K} \text{ constant } \Rightarrow g_y = g_k \Rightarrow g_y = \alpha g_y + (1-\alpha) g_A \Rightarrow \qquad g_y = g_k = g_A$$

Mais ici :

$$g_A = \kappa L_A$$

avec $L_A$ définie de manière endogène par le modèle

$$g_A = \kappa s_R L \Rightarrow g_A = \frac{\kappa L - r + n}{\alpha}$$

# La croissance

Le taux de croissance est de plus en plus fort à mesure que la population augmente (car effort de recherche plus important, donc nombres de découvertes plus importantes)

Cela ne correspond pas à ce que l'on observe dans les données !

En réalité, cela tient à une hypothèse forte ($\phi = 1$)

# Discussion

Plusieurs hypothèses sur $\lambda$, $\phi$ et $n$ sont possibles:

$\lambda = \phi = 1$, $n = 0 \rightarrow$ Croissance endogène (Romer)

- Croissance du niveau technologique et du revenu par habitant exponentielle
- Population ne doit pas croître et caractère "Knife edge" de la croissance

$\lambda \leq 1, \phi < 1$, $n > 0 \rightarrow$ Croissance semi-endogène (Jones)

- $g_A = \kappa \frac{L_A^{\lambda}}{A^{1-\phi}}$
- $\Rightarrow 0 = \lambda \frac{\dot{L}_A}{L_A} - (1-\phi)\frac{\dot{A}}{A}$
- $\Rightarrow g_A = \frac{\lambda n}{1-\phi}$ le progrès technique repose sur des considérations exogènes !

$\lambda = 1, \phi < 1$, $n = 0 \rightarrow$ Faibles limites à la croissance

# Politique économique et croissance à long terme

En dehors du modèle de Romer, on retrouve les considérations des modèles de croissance néoclassiques : il est impossible d'augmenter le taux de croissance de long terme !
Prenons, pour simplifier $\phi = 0$ et $\lambda = 1$

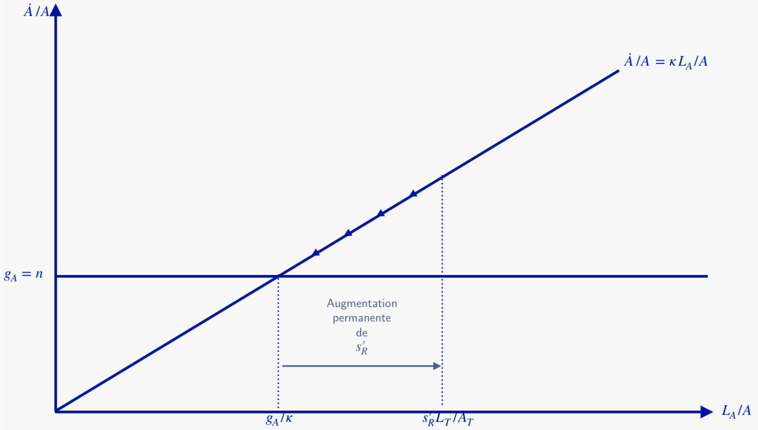
$$\frac{\dot{A}}{A} = \kappa \frac{s_R L}{A}$$

Supposons une économie initialement sur un sentier de croissance équilibré ($g_A = n$)

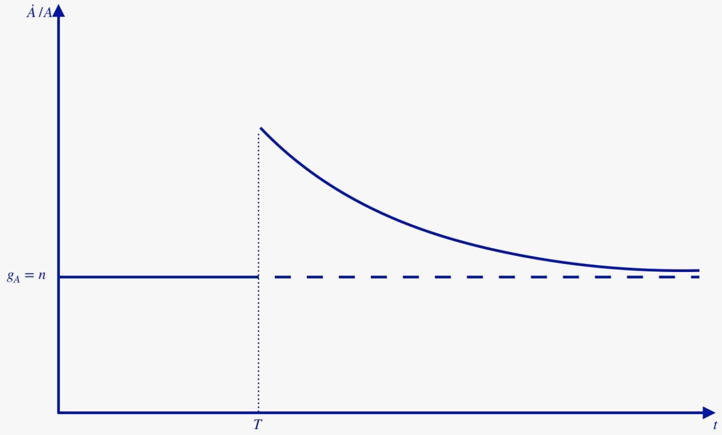
- Un passage de $s_R$ à $s'_R$ augmente $s_R L/A$
- $g_A$ devient supérieur à $n$
- $\frac{s_R L}{A}$ diminue jusqu'à revenir au niveau stationnaire

Centrale Marseille

# Graphiquement



# Graphiquement



# Croissance du revenu par habitant

Sur le sentier de croissance équilibré avec $\phi = 0$ et $\lambda = 1$

$$y_t^* = \left(\frac{s_K}{n + g_A + \delta}\right)^{\alpha/(1-\alpha)} (1 - s_R)\kappa \frac{s_R}{g_A} L(t)$$

- la production par habitant est proportionnelle à celle de la population
  - effet demande : plus l'économie est peuplée plus le marché pour les idées est vaste
  - effet d'offre : plus l'économie est peuplée, plus elle inclut de chercheurs, plus il y a d'idées nouvelles
- Les économies les plus riches sont celles qui investissent le plus
- Effet ambigu de $s_R$
  - effet négatif : plus de travail dans la production d'idées implique moins de travail dans la production de bien final
  - effet positif : plus de personnes dans la production d'idées implique plus d'idées, implique une plus grande augmentation de la productivité