

8.2.6. La croissance endogène

Le modèle de Solow reste la référence des économistes néoclassiques en matière de croissance. Toutefois, ce modèle, pris tel quel souffre de lacunes de deux types :

- 1- Ses enseignements ne concordent pas avec l'observation empirique. Rien dans le modèle ne permet d'expliquer les énormes différences entre les taux de croissance des différents pays, ni pourquoi tant de pays pauvres peinent à sortir de leur sous-développement industriel. D'après le modèle, le commerce international et les mouvements internationaux de capitaux devraient mener à une certaine *convergence* des économies du globe : la même technologie étant accessible à tous, les économies devraient toutes tendre vers une même intensité k avec la seule différence que les pays initialement arriérés y accéderaient via une transition qui les tirerait vers le haut.
- 2- Le modèle élève le progrès technique (la variable A) au titre de facteur principal de la croissance ; mais simultanément il se contente de le prendre comme exogène ; autrement dit, il ne l'explique pas.

Les économistes néoclassiques ont cherché des solutions à cette double difficulté. Une première piste explorée consiste à considérer que le capital se compose de deux parties : le CAPITAL PHYSIQUE et le CAPITAL HUMAIN. Les dépenses qui augmentent la compétence et la capacité de travail individuelles des travailleurs, comme les dépenses de santé, les dépenses d'éducation, sont des investissements dans un *capital humain* qui s'accumule. Augmenté du capital humain, le capital voit son importance prévaloir dans l'explication de la croissance, au détriment du progrès de la connaissance technique.

La théorie de la *croissance endogène*, apparue dans les années 1980, explore l'autre piste : l'endogénéisation du progrès technique. Rivale de la précédente, elle semble plus novatrice en s'écartant davantage du modèle de Solow, mais elle reste néanmoins bien ancrée dans l'orthodoxie néoclassique.

ARROW ET L'APPRENTISSAGE PAR LA PRATIQUE

Avec son article « The Economic Implications of Learning by Doing » (1962), Arrow fait figure de précurseur de cette théorie. De multiples facteurs expliquent l'accroissement du savoir technique et les modèles ne peuvent les inclure tous simultanément. Dans cet article, Arrow s'intéresse à l'un d'entre eux : l'*apprentissage par la pratique*. Non pas au niveau de la compétence individuelle qui serait un capital humain, mais du savoir accessible à tous les candidats producteurs.

Le début de l'article présente la motivation de la théorie de la croissance endogène : « Nevertheless a view of economic growth that depends so heavily on an exogenous variable, let alone one so difficult to measure as the quantity of knowledge, is hardly intellectually satisfactory »¹.

Pour construire un modèle de l'apprentissage par la pratique, encore faut-il disposer d'un indicateur de l'expérience totale acquise par une société. Arrow sélectionne à cet effet l'investissement brut cumulé. Chaque installation de machine est une expérience

¹ Arrow [14] p. 155.

qui augmente le savoir commun. On en arrive naturellement à un modèle à progrès technique incorporé avec vintage. Les équipements sont identifiés par un numéro de série séquentiel G . L'expérience au temps G est entièrement incorporée dans les équipements G ; l'expérience des périodes suivantes n'affectera plus les équipements déjà installés. Le modèle ne prend en compte que l'apprentissage qui bénéficie à la conception des outils de production, pas à celui qui en améliore l'utilisation. Arrow reconnaît qu'il s'agit d'un manque, qui mériterait d'être comblé par des études complémentaires.

Arrow construit une espèce de fonction de production dont les deux inputs sont le travail L et l'investissement cumulé G . Cette fonction de production virtuelle révèle des *rendements d'échelle croissants*. En effet, la présence de G introduit une externalité positive : la machine G incorpore gratuitement un supplément de productivité par rapport à $G-1$, $G-2$... Comme l'avantage bénéficie à tous les producteurs sans qu'ils doivent l'acquérir sur le marché, le travail et le capital peuvent être rémunérés à leur productivité marginale et cette non-convexité ne trouble pas la concurrence.

Nous ne détaillerons pas le modèle, qui est assez complexe parce qu'il embrasse pas mal de dimensions du système économique ; notamment, les investissements sont décidés sur base de l'anticipation des revenus nets futurs actualisés et Arrow reprend de Muth l'hypothèse des *anticipations rationnelles*. Rapportons simplement cette conclusion : « It should be made clear that all that has been demonstrated is the existence of a solution in which all variables have constant rates of growth, correctly anticipated. The stability of the solution requires further study »². Comme dans le modèle de Solow, le taux de croissance se révèle indépendant du taux d'épargne.

Le modèle montre que la croissance du salaire est plus élevée si la population croît plus vite. Cette constatation paradoxale s'explique par le fait qu'en cas de plein emploi, une main d'œuvre plus abondante permet une introduction plus rapide des équipements les plus récents.

Arrow compare la solution émanant des forces du marché avec l'optimum théorique qui adviendrait si un planificateur déterminait G de façon à maximiser une fonction d'utilité sociale basée sur la consommation intertemporelle avec escompte. Les deux solutions arrivent au même taux de croissance, mais le taux d'investissement de la solution du marché est moindre.

PAUL ROMER ET LA RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT

L'économiste qui a le mieux associé son nom à la *croissance endogène* est Paul Romer³. Parmi les nombreuses publications qu'il lui a consacrées, « Endogenous Technical Change » (1990) s'intéresse à l'autre source d'accroissement du savoir technique que celle étudiée par Arrow : la *recherche et développement* (R&D). Il intègre le *capital humain* dans son modèle mais dans une optique différente de celle qui fut mentionnée ci-avant.

² Arrow [14] p. 166

³ A ne pas confondre avec le *nouveau keynésien* David Romer.

La thèse défendue s'appuie sur trois prémisses :

- 1- Le changement technologique joue un rôle central dans la croissance
- 2- L'innovation technologique répond à des stimuli du marché.
- 3- Une technologie est un bien qui a ceci de particulier que sa production occasionne un coût initial et son exploitation par la suite plus aucun coût.

Pour bien comprendre les spécificités de la technologie, il importe de pouvoir classer les biens :

- D'une part, les caractéristiques techniques des biens les rendent *rivaux* si l'utilisation par un agent diminue la possibilité de les utiliser par les autres agents ; sinon ils sont *non-rivaux*.
- D'autre part, les institutions sociales et légales les rendent *exclusifs* si un monopole d'utilisation est accordé à un agent (brevet) ; sinon ils sont *non-exclusifs*.

Les *biens économiques* sont rivaux et exclusifs contrairement aux *biens publics* qui sont non-rivaux et non-exclusifs. La recherche fondamentale est un bien public ; le capital humain est un bien économique, car l'apprentissage d'un deuxième travailleur coûtera environ autant que celui du premier. La technologie est un bien non-rival partiellement exclusif. La productivité d'un facteur de production de ce type est potentiellement illimitée et seule une part de cette productivité peut être rétribuée sur le marché. La fonction de production qui intègre un input non-rival révèle forcément des rendements d'échelle croissants, elle ne peut être concave. S'il paye ses inputs rivaux à leur productivité marginale, le producteur n'a plus de ressources à affecter à l'input non rival. Un équilibre général concurrentiel est donc impossible si l'input non-rival est ne fût-ce que partiellement exclusif. Romer résout la difficulté en faisant une entorse à la concurrence parfaite qui régent la plupart des modèles : il inclut une espèce de concurrence monopolistique. Solow n'eut pas à faire face à ce problème parce qu'il considérait la technologie comme un bien public, donc entièrement disponible et gratuit. Des trois prémisses de Romer, Solow n'avait pas fait sienne la deuxième.

Exposons brièvement le modèle. Quatre inputs productifs interviennent :

- Le capital physique K
- Le travail L
- Le capital humain H , de productivité γ .
- La technologie A

Il y a trois secteurs économiques que je symboliserai par la même lettre que leur production :

- Le secteur de la recherche et développement : A
- Le secteur des biens intermédiaires : X
- Le secteur des biens finaux : Y : une partie de ceux-ci est consommée et l'autre réinvestie.

Le modèle recrée une mécanique économique globale simplifiée comme suit : le secteur A produit des designs d'équipements, identifiés par l'indice i . Le progrès technologique se matérialise par le fait que de nouveaux designs sont produits en permanence. $A(t)$ est donc le nombre de ces designs existant au temps t . Ces designs sont achetés sous forme de licences (à terme infini) au prix P_A par le secteur X . Chaque producteur de X produit en monopole un bien intermédiaire correspondant à un design

i en quantité x_i . Les équipements i sont offerts en location aux firmes Y au prix p_i . La valeur d'une unité de i correspond à la somme des revenus futurs actualisés.

Diverses simplifications sont introduites :

- L'offre globale de L et celle de H sont fixes dans le temps
- La dépréciation et l'obsolescence des équipements sont ignorées
- Le produit fini est pris comme numéraire. $P_Y = 1$.
- La consommation des inputs par les secteurs est simplifiée :
 - o A consomme A et H_A .
 - o X utilise A et Y
 - o Y utilise L , H_Y et X
- On a : $dA/dt = \gamma H_A A$. La production de connaissance est linéaire par rapport au stock accumulé et par rapport au capital humain. Cette linéarité, peu habituelle, traduit une productivité marginale non décroissante de ces inputs. Romer le justifie ainsi : « The specification here, in which unbounded growth at a constant rate is feasible, was chosen because there is no evidence from recent history to support the belief that opportunities for research are diminishing » (84).⁴
- La variable i est traitée comme continue plutôt que discrète, ce qui d'un point de vue économique est un non-sens, mais a l'avantage de permettre le traitement mathématique avec le calcul intégral.

La connaissance A a donc un double impact sur la production :

- l'accroissement de la productivité des recherches ultérieures
- l'élargissement des équipements de production.

La fonction de production Y est de type Cobb-Douglas arrangé :

$$Y(H_Y, L, X) = H_Y^\alpha \cdot L^\beta \cdot \int_0^\infty x_i^{1-\alpha-\beta} di \quad (8.31)$$

L'intégrale additionne le x_i . Cette additivité exclut les effets de complémentarité et de substitution entre les équipements de production, ce qui n'est évidemment pas réaliste.

Romer définit l'équilibre comme un sentier d'évolution des prix et quantités respectant ces conditions :

- 1- Les ménages déterminent leur épargne en considérant le taux d'intérêt r comme donné.
- 2- Les détenteurs du capital humain le répartissent entre la recherche (H_A) et la production (H_Y) en considérant donnés w_A (la rétribution du capital humain), P_A et A .
- 3- Les producteurs de Y déterminent leur input de L et H_Y en considérant les prix donnés.
- 4- A l'opposé des précédents, les producteurs de X déterminent leur prix, de façon à maximiser leur profit, en considérant r et leur demande comme donnés. La décision de démarrer la production x_i se prend en considérant P_A comme donné.
- 5- L'offre et la demande s'équilibrent sur tous les marchés.

Romer démontre mathématiquement que cet équilibre est compatible avec une croissance en *steady state* où A , K et Y croissent exponentiellement à un taux constant.

⁴ Romer [308] p. 84.

Plus précisément, ces variables ainsi que la consommation C croissent toutes à un taux g où :

$$g = \gamma \cdot H_A \quad (8.32)$$

La démonstration est complexe car elle fait intervenir de nombreux paramètres : la demande de x_i par les firmes Y , la maximisation du profit par les firmes X , l'égalisation de P_A avec l'actualisation des revenus futurs $x_i \cdot p_i$, l'optimisation intertemporelle de l'utilité des ménages tenant compte du taux d'intérêt, de l'escompte des satisfactions futures et du taux marginal de substitution intertemporel... Les simplifications du modèle ne permettent pas de différencier l'offre des producteurs de X . Ils offrent donc tous une quantité identique x° , qui ne varie pas avec t , car la croissance de K s'exprime uniquement par le nombre de x_i .

Comme Romer le constate lui-même, le modèle se comporte comme un modèle néoclassique traditionnel avec un progrès technique « labor and human capital augmenting ».

Un taux d'intérêt bas favorise la croissance. Son élévation réduit la valeur des designs d'équipements, du fait de l'escompte ; la motivation d'investir dans l'activité R&D se réduit et donc également le taux de croissance g .

Dans le présent modèle, le capital humain H est exogène. Romer reconnaît qu'il serait souhaitable d'endogénéiser cette variable. Le modèle met en lumière que lorsque H augmente, la part de H_A par rapport à H_Y augmente par la même occasion, ce qui est favorable à la croissance comme l'indique l'équation (8.32). Sous un certain seuil de H , la croissance disparaît même, car la trop faible augmentation de A génère des revenus futurs escomptés insuffisants pour compenser le sacrifice que représente l'investissement.

Romer pense que d'une façon générale, les sociétés allouent trop peu de capital humain au secteur de la recherche. L'externalité positive n'étant pas (totalement) payée, la motivation d'investir dans ce domaine est émoussée. Une politique de subsides encourageant la recherche et l'accumulation de capital humain devrait rapprocher l'économie de l'optimum social.

Romer considère que l'intégration économique mondiale permet le partage du capital humain. Elle est donc favorable à la croissance de tous les pays, y compris ceux qui, selon d'autres modèles, pourraient s'en dispenser parce qu'ils disposent d'un large marché intérieur.