

8.2.3. Progrès technique et fonction de production

INFLUENCE DU PROGRES TECHNIQUE SUR LA REPARTITION DU REVENU

Hicks est l'un des premiers économistes à s'être intéressé aux effets sociaux du progrès technique, précisément dans le chapitre de la « Theory of Wages » où il introduisait l'*élasticité de substitution*.

En situation concurrentielle, une invention ne peut être profitablement adoptée que si en fin de compte elle accroît le dividende national. En effet, elle ne sera rentable pour l'entrepreneur que si elle lui permet d'obtenir le même produit avec moins de ressources. Des ressources sont donc libérées pour qu'une entreprise, la même ou une autre, mette sur le marché un supplément de produit.

Mais il est peu probable que l'invention augmente le produit marginal de tous les facteurs dans la même proportion. “‘labour-saving’ inventions increase the marginal product of capital more than they increase the marginal product of labour; ‘capital-saving’ inventions increase the marginal product of labour more than that of capital; ‘neutral’ inventions increase both in the same proportion”¹. Rappelons-nous qu'en situation concurrentielle, la rémunération se règle suivant sa productivité marginale.

Une invention économisant le travail ne DOIT donc pas diminuer le produit marginal du travail et par là la part ABSOLUE de ce facteur dans le revenu national, bien que cette éventualité soit possible. Par contre, une invention économisant le travail ou économisant le capital réduit toujours la part RELATIVE du facteur économisé.

Hicks est convaincu que les inventions économisant le travail prédominent dans la réalité économique. L'explication est la suivante. L'épargne cumulée des générations accroît l'offre de capital plus que n'augmente celle du travail. Le travail tend donc à devenir le facteur cher ; l'incitation à l'économiser est donc plus forte².

Cette dernière remarque amène à distinguer les *inventions induites* et les *inventions autonomes*. Les premières résultent de la volonté de réduire le coût du facteur dont le prix relatif s'est accru ; compte tenu de la remarque ci-avant, elles sont plus souvent labour-saving. Les secondes étant indépendantes du prix des facteurs, la balance entre les deux biais doit plus ou moins s'équilibrer. Donc au total, l'ensemble des inventions penchera du côté de celles qui économisent le travail. Certaines inventions induites par le renchérissement du travail, plus efficaces, auraient été rentables même au rapport de prix antérieur ; ce sont elles que les salariés doivent le plus craindre.

Hicks remarque encore : « since an enlarged absolute return is more likely to stimulate an increase in the supply of capital than an increase in the supply of labour, autonomous

¹ Hicks [151] p. 122. Les économistes qualifient le progrès technique de *neutre-Hicks* si le rapport des productivités marginales n'a pas changé ALORS QUE L'INTENSITE DES FACTEURS, QUELLE QU'ELLE SOIT, EST RESTEE CONSTANTE.

² En l'absence de progrès technique, l'accroissement de l'offre relative d'un facteur sur une longue période finit par abaisser l'élasticité de substitution, ce qui est défavorable à ce facteur. Des inventions qui économisent l'autre facteur tendent à compenser cette évolution en augmentant l'élasticité de substitution.

inventions may have the secondary effect in encouraging the accumulation of capital »³. Le travail en bénéficierait alors indirectement.

En définitive, Hicks est confiant quant à la préservation de la part absolue du travail dans le revenu national. Par contre, « it is difficult to feel the same degree of optimism in the matter of relative shares »⁴.

Harrod n'est pas satisfait de la définition hicksienne de la *neutralité du progrès technique*. Il lui reproche de la rendre dépendante de facteurs extrinsèques à l'invention elle-même. Les productivités marginales des facteurs dépendent effectivement de l'élasticité de substitution dans d'autres secteurs de production ainsi que de l'élasticité de l'offre des facteurs.

Harrod avance sa propre définition : « I define a neutral advance as one which, at a constant rate of interest, does not disturb the value of the capital coefficient ; it does not alter the length of the production process »⁵. Ce qui importe selon Harrod, ce n'est pas l'invention isolée, mais le flux d'inventions au niveau agrégé. Il est possible que le flux agrégé satisfait le critère même si ce n'est la cas d'aucune invention particulière.

Si le taux d'intérêt est constant, un flux d'inventions *neutres-Harrod* n'altère pas la répartition du revenu national entre les facteurs. Il assure également l'égalité entre le taux de croissance de Y et celui de K . Harrod écrit : "As I have chosen to approach the dynamic problem by asking what rate of increase of capital would be consistent with certain rates of increase of other parts of the system, it has seemed simplest to define a neutral stream of inventions as one which shall require a rate of increase of capital equal to the rate of increase of income engendered by it"⁶. Pour que l'économie connaisse une croissance semi-stationnaire, le progrès technique doit être *neutre-Harrod*.

Dans l'optique de Harrod, une invention nécessitant que le capital croisse à un taux supérieur à celui du revenu est dite *labour-saving*.

Supposons une économie dont la population et la main d'œuvre augmentent à un taux annuel régulier de n et dont le taux d'intérêt est constant. Le progrès technique est absent. Quel est le taux d'épargne annuel $s = \Delta K/Y$ requis ? Il est égal au coefficient de capital K/Y multiplié par n . Par exemple si $K/Y = 4$ et $n = 0,01$, un taux d'épargne de 4% sera requis. Inversons maintenant les paramètres : la population est constante mais il y a un progrès technologique neutre régulier au taux annuel λ ; le taux d'épargne requis se calcule de façon similaire ; $s' = \lambda \cdot K/Y$. Et si l'économie connaît simultanément une croissance démographique et un progrès technique neutre, tous deux réguliers, le taux d'épargne requis vaudra $s+s'+ss'$, soit $s+s'$ puisque ss' est négligeable.

On peut classer les progrès techniques selon la façon dont ils influencent la fonction de production. L'expression la plus générale d'une fonction de production intégrant le progrès technique est :

$$Q = F(K,L,t) \quad (8.18)$$

³ Hicks [151] p. 128

⁴ Hicks [151] p. 130

⁵ Harrod [133] p. 23. Le *coefficient de capital* est le rapport K/Y .

⁶ Harrod [133] p. 26

Comme Solow, désignons le niveau de la technique au temps t par la variable $A(t)$. Deux cas particuliers sont :

- Le progrès augmentant le travail :

$$Q = F(K, A(t)L) \quad (8.19)$$

- Le progrès augmentant le capital :

$$Q = F(A(t)K, L) \quad (8.20)$$

Une fonction augmentant le travail est comparable à une fonction qui serait sans progrès technique et où la main d'œuvre augmenterait au taux $A(t)$. On utilise les termes *unités de travail efficace* pour le produit $A(t)L$.

Si $A(t)$ connaît une croissance à taux constant λ , il augmente exponentiellement et la fonction (8.19) devient $F(K, e^{\lambda t}L)$ en temps continu.

Les fonctions dont le progrès technique est *neutre-Hicks* sont du type de l'équation (8.13). Le progrès technique *neutre-Harrod* est nécessairement du type *augmentant le travail*. Les types de fonction (8.13), (8.19), (8.20) ne sont pas mutuellement exclusifs. Bien qu'il s'agit de cas exceptionnels, des fonctions peuvent satisfaire même les trois conditions simultanément. Pour que le progrès technique soit neutre à la fois selon Hicks et selon Harrod, l'élasticité de substitution entre K et L doit valoir l'unité. C'est le cas de la fonction Cobb-Douglas.

Un progrès technique *neutre-Hicks* d'ampleur λ a pour effet de déplacer la *frontière des prix des facteurs* (graphique 5.11) vers le nord-est de telle façon que chaque point est remplacé par un point pour lequel tant w (l'ordonnée) que r (l'abscisse) sont multipliés exactement par $1+\lambda$.

PROGRES TECHNIQUE INCORPORE

Nous avons quitté Solow au sous-chapitre 8.2.2 alors qu'il constatait la part assez faible de l'accumulation du capital dans l'explication de la croissance. Cette constatation lui inspire réticence. Il revient à la charge dans plusieurs écrits entre 1959 et 1963 avec une nouvelle idée : si le progrès technique s'incorpore dans le capital, l'accumulation de celui-ci regagne en importance. Voici comment il introduit le concept de *progrès technique incorporé* : "Shifts in technology can be divided into two kinds, which may be described as disembodied and embodied. Disembodied improvements in technique are purely organizational; they permit more output to be produced from unchanged inputs, with no investment required. Embodied improvements in technique permit an increased output from an 'ultimately' smaller input, but require the construction of new capital goods before the knowledge can be made effective"⁷.

L'article « Investment and Technical Progress » (1959) réexpose son précédent modèle, qui a entretemps inspiré d'autres économistes. En la supposant du type *Cobb-Douglas* à rendements d'échelle constants, avec un progrès technique neutre-Hicks à taux constant λ (donc exponentiel), la fonction de production s'écrit :

⁷ Solow [341] p. 216. Solow ne se risque pas à diagnostiquer lequel des deux types de progrès technique est plus courant dans l'économie réelle.

$$Q(t) = B e^{\lambda t} L(t)^\alpha K(t)^{1-\alpha} \quad (8.21)$$

Appelons-la la fonction T (comme « traditionnelle »). Le progrès technique y est « disembodied ». Q augmente au taux λ même si K et L sont constants, ce qui surprend. Il n'y a aucune interrelation entre λ et le taux d'investissement. Solow regrette : "The striking assumption is that old and new capital equipment participate equally in technical change. This conflicts with the casual observation that many if not most innovations need to be embodied in new kinds of durable equipment before they can be made effective"⁸.

Solow va lui opposer une fonction que j'appellerai I (comme « incorporé »). Voyons comment il la construit. L'idée de base est la distinction entre les équipements des différentes dates de construction que Solow appelle « vintages ». Après t , une deuxième variable temporelle, notée v , est introduite pour désigner ces dates de construction-installation. Ainsi, $I(v)$ est l'investissement au temps v (y compris le remplacement) et $K_v(t)$ représente l'ensemble des machines produites en v qui sont opérationnelles en t . Leur taux de dépréciation est δ , ce qui correspond à une durée de vie de $1/\delta$. Chaque nouvelle génération d'équipement incorpore le progrès technique de son millésime qui la rend $(1+\lambda)$ fois plus productive que la précédente. A chaque période, les salariés sont redistribués des équipements déclassés vers ceux de la nouvelle génération. Solow travaille en temps continu : les périodes sont donc infiniment petites.

Il y a une fonction de production Cobb-Douglas $Q_v(t)$ par génération d'équipement et la production totale est l'addition (par intégration) de ces fonctions partielles, ce qui donne :

$$Q(t) = B \cdot e^{-\delta(1-\alpha)} \cdot L(t)^\alpha \cdot J(t)^{1-\alpha} \quad (8.22-A)$$

$$\text{où } J(t) = \int_{-\infty}^t e^{(\delta+\lambda/1-\alpha) \cdot v} \cdot I(v) dv \quad (8.22-B)$$

$J(t)$ est une espèce d'équivalent-capital. Solow compare les résultats de la fonction I avec ceux de la fonction T , qu'il retouche de façon à remplacer K par une expression contenant les variables $I(v)$ et δ . A l'aide de données empiriques, Solow procède à une estimation, très approximative- il l'avoue- de λ : la fonction I donne une valeur plus élevée que la fonction T . Ce n'est pas étonnant, puisque le progrès technique n'y agit que par le vecteur plus étroit des équipements récents.

Le but de Solow est de comparer l'importance du taux d'accumulation dans les fonctions T et I . A l'aide d'exemples chiffrés basés sur des valeurs plausibles de principaux paramètres, il envisage deux hypothèses :

- $I(v)$ est constant puis à partir du temps (peut-être mal nommé) t_0 , il est doublé.
- $I(v)$ est constant, puis il augmente annuellement de 5% à partir de t_0 .

Après dix ans à ce régime, de combien $Q(10)$ est-il supérieur à $Q(0)$? De combien aurait été l'accroissement de Q sans ce supplément d'accumulation ? Clairement, le supplément d'accumulation a plus d'effet avec la fonction I qu'avec la fonction T . Solow peut conclure que la fonction I « makes the extra capital formation and technical progress share almost equally in the increase in output »⁹.

Dans un article plus empirique paru en 1962, Solow se pose la question : « How much fixed investment is necessary to support alternative rates of growth of potential output in

⁸ Solow [340] p. 91

⁹ Solow [340] p. 99

the United States in the near future ? »¹⁰ Le terme « potentiel » est important ; il exclut l'inactivité des facteurs de production ; il faut néanmoins tenir compte de cette inactivité car les statistiques ne donnent que la production réelle. Solow reconstruit une fonction de type I mais légèrement modifiée. La production potentielle $P(t)$ est ici donnée par l'équation :

$$P(t) = F(L(t), J(t)) \quad \text{où } J(t) = \sum_{v=-\infty}^t (1 + \lambda)^v \cdot B(t - v) \cdot I(v) \quad (8.23)$$

$B(t-v)$ exprime la proportion des équipements construits en v qui sont opérationnels en t . L'*équivalent-capital* $J(t)$ est l'addition du nombre de machines opérationnelles de chaque vintage, pondéré par le facteur d'accroissement de la productivité. On reconnaît ici une fonction *capital-augmenting*, car λ est entièrement intégré dans $J(t)$.

Solow remarque une contradiction : si les facteurs K et L sont substituables selon les critères habituels, il est impossible qu'une partie du facteur K soit inactive tant que sa productivité marginale en valeur reste positive, car une fois acquis, il ne coûte plus rien et son usage ne peut donc qu'être avantageux. La solution proposée par Solow consiste à concevoir différemment la substitution entre K et L : l'installation de nouveaux équipements est l'occasion pour la firme de revoir son intensité capitaliste, mais pendant la durée de vie du matériel, la substitution s'avérera impossible. Solow ne recourt toutefois pas à ce type de substitution dans l'article de 1962, car il est trop complexe pour une application empirique.

Solow n'est pas seul sur la piste de ce capital de moins en moins *malléable*. Hahn et Matthews écrivent à ce sujet : « It may be however that while an entrepreneur is able to choose between techniques with varying capital-labour ratios at the time when he is installing a new machine he loses his freedom of action once the machine has been bought: each machine is designed to be worked by a crew of men and the crew cannot thereafter be changed. In the terminology of Johansen (1959), there is then 'ex ante substitutability' between labour and capital, but no 'ex post substitutability'; or in that of Phelps (1963), capital is 'putty-clay' (putty ex ante, clay ex post), instead of being pure putty »¹¹. Dans ces modèles, le cas échéant, le matériel est déclassé à la suite de son obsolescence et non plus du fait de son usure physique. Les équipements les plus anciens cessent d'être rentables car leur utilisation requiert trop de personnel au vu du salaire qui augmente avec le revenu par tête. Contrairement au progrès technique incorporé, la qualité *putty-clay* d'une technologie n'implique pas la croissance économique ; elle est compatible avec des modèles de production stationnaires.

¹⁰ Solow [342] p. 76

¹¹ Hahn & Matthews [126] p. 838