

Que mesure la productivité totale des facteurs?

Richard G. Lipsey
Université Simon Fraser
Kenneth Carlaw*
Université de Canterbury

Ce texte soulève plus de questions qu'il ne propose de réponses. La plupart des assertions que nous y faisons doivent être tenues pour des hypothèses seulement. Nous espérons, par la présentation de ce texte, en apprendre suffisamment pour nous forcer à changer d'idée sur de nombreuses questions. Nous ne croyons pas, par contre, être les seuls plongés dans la confusion au sujet de l'interprétation des chiffres de productivité totale des facteurs (PTF). Les citations qui suivent traduisent les différentes interprétations que divers éminents économistes donnent aux mesures de la PTF.

- (1) « Les économistes ont tendance à voir la productivité comme une mesure de l'état actuel de la technologie qui entre dans la production des biens et services d'une économie (ou d'une industrie ou d'une entreprise), et voudraient voir dans les variations de cette mesure le « changement technologique », où la frontière des possibilités de production est reculée. À cette fin, il est utile de mettre l'articulation sur l'une ou l'autre des versions de la « productivité multifactorielle ». (Griliches : 1010)
- (2) « Lorsque les économistes parlent de croissance de la productivité, c'est essentiellement ce qu'ils veulent dire le taux de croissance de la capacité de réaliser une production à partir d'un stock donné d'intrants. Dans le langage ordinaire, on peut dire qu'augmenter la productivité, c'est « travailler intelligemment » plutôt que « travailler plus fort »... [L]a pro-

ductivité totale des facteurs d'une économie ne croît que si les travailleurs « travaillent plus intelligemment », et apprennent à tirer plus de production d'une quantité donnée d'intrants. Les améliorations de technologie - l'invention du moteur à combustion interne, et l'avènement de l'électricité et des semi-conducteurs - augmente clairement la productivité totale des facteurs. » (Law : 6 et 7)

- (3) « La caractéristique qui définit la productivité [totale des facteurs] comme source de croissance économique est que les revenus générés par l'augmentation de productivité sont en dehors des activités économiques générant la croissance. Ces retombées « débordent » sur des bénéficiaires de revenu qui ne participent pas à ces activités, d'où rupture du lien entre la création de croissance et les revenus qui en résultent. » (Jorgenson, 1995 p. xvii.)
- (4) « Le concept organisateur central... [est] la division de la croissance observée de la production par travailleur en deux éléments indépendants et additifs : la substitution capital-travail, reflétée dans les mouvements autour de la fonction de production; et les gains d'efficacité d'utilisation des ressources, reflétées par les déplacements de cette fonction. Pour maintenir l'additivité,... on ne pourrait pas appliquer l'analyse cumulativement sans introduire un terme d'interaction entre la substitution du capital et l'accroissement de l'efficience... [L]e débat sur la productivité

résiduelle n'a jamais visé à répondre à la question de savoir de quoi le résidu est formé. Cela demeure la question dominante. » (Metcalf : 620)

- (5) « ... à la longue... les indices [de PTF] révèlent bel et bien l'accroissement de productivité lié aux possibilités technologiques, soit sous forme de progrès technique, soit par une meilleure utilisation de toutes les technologies disponibles » (Statistique Canada, mars 1996 : 119)
- (6) « Le progrès technologique *ou* la croissance de la productivité totale des facteurs s'exprime par estimation résiduelle par *la* fonction de production... La productivité totale des facteurs est donc la meilleure expression de l'efficacité de la production économique et des perspectives d'augmentations de production à long terme. (Statistique Canada 13-568 : 50-51, italiques ajoutées)
- (7) « [L]a productivité totale des facteurs (PTF) mesure la production réalisée par des quantités données de travail et de capital réunis. Une PTF élevée traduit un haut niveau de technologie et signifie que le capital et le travail peuvent rapporter des taux élevés de rendement pendant que le coût de production demeure faible. » (Dollar et Wolff : 3).
- (8) « Les pionniers en cette matière ont bien dit que cette découverte de grands résidus est un embarras, ou mieux « une mesure de notre ignorance ». (Griliches, 1994 : 1)
- (9) « Un exercice de comptabilité de la croissance [réalisé par Alwyn Young] donne un résultat étonnant : Singapour n'a pas affiché le moindre progrès technique. » (Krugman : 55) « Singapour ne pourra soutenir une nouvelle croissance qu'en réorientant ses politiques, jusque-là consacrées à l'accumulation des facteurs, vers la question nettement plus subtile du changement technologique. » (Young : 50)

La citation (1) veut dire que les économistes considèrent que les variations de PTF sont la mesure du changement technologique. La citation (2) signifie que la PTF mesure toute les améliorations de technologie, y compris des choses comme l'avènement et l'électricité et de l'automobile. Par contraste direct, la citation (3) nous dit que la PTF ne mesure que les external-

ités et les autres cadeaux gratuits associés à la croissance économique. Selon la citation (4), les mesures de la PTF ne sont valides que pour les interventions menées sur des périodes relativement courtes. Par contraste, la citation (5) nous dit que la PTF mesure les effets du changement technologique et accroît l'efficacité sur le long terme. La citation (6) va plus loin et nous dit que la PTF mesure les *perspectives* d'augmentations à plus long terme de production. La citation (7) dit que la hauteur de la PTF mesure la hauteur de la technologie utilisée et l'ampleur des rendements du capital. Par contraste direct avec toutes les autres, la citation (8) nous sert une mise en garde, soit que la PTF est une mesure de notre ignorance, une mesure de ce que nous ne savons pas. Les citations en (9) supposent que les faibles mesures de PTF pour Singapour indiquent que, pendant la période où son revenu par habitant est passé des niveaux du Tiers-Monde à ceux des pays industrialisés, elle n'a pas connu de changement technologique, et était donc engagée dans une voie non viable comme celle suivie par l'URSS.

On ne se mouille pas beaucoup en disant que toutes ces affirmations au sujet de la PTF ne peuvent pas toutes être correctes. C'est le changement technologique à long terme qui nous intéresse. Nous croyons qu'une bonne part de la population mondiale a vécu une série de chocs technologiques massifs qui sont associés à ce qu'il est convenu d'appeler les technologies de l'information et des communications (TIC). Certains économistes en doutent parce que, entre autres choses, il n'y a pas d'indices de gros chocs technologiques dans les mesures de la productivité totale des facteurs (PTF) au cours des années 90. Au contraire, à en juger par les chiffres de PTF, le changement technologique semble avoir ralenti au cours des deux dernières décennies du XXe siècle.

Notre article traite de cet objection. Pour cela, nous analysons ce que la PTF mesure et ne mesure pas, en rattachant les mesures de la productivité aux détails de ce que nous avons appris au sujet du changement technologique dans les écrits d'observateurs de la technologie comme Nathan Rosenberg, Christopher Freeman et Paul David. Nous concluons que les mesures

types de la PTF qui se veulent des mesures du changement technologique n'en sont pas du tout; et qu'elles ne mesurent pas non plus l'importance des externalités et des autres « cadeaux gratuits » dans le processus de croissance.

De fait, soutenons-nous, rechercher l'importance du nouveau savoir technologique dans les mesures du type d'externalités étudiées par Arrow dans son classique de 1962, ou dans les écarts observés entre les taux privé et social de rendement de la R-D, c'est chercher au mauvais endroit. L'importance du changement technologique pour la croissance économique se situe dans les complémentarités technologiques qu'il crée, et non dans les externalités. Ces complémentarités échappent essentiellement à la mesure des calculs de la PTF. Pour comprendre la place du changement technologique dans le processus de croissance, et éviter certaines erreurs fréquentes d'interprétation des mesures empiriques du changement de productivité, il faut comprendre ces questions-là. Nous faisons ensuite valoir qu'on ne saurait considérer que les choses que la PTF peut ou ne peut pas mesurer sont une mesure du changement technologique ou du dynamisme technologique.

Le Contexte Technologique

Dans notre conception, la société commence avec deux facteurs fondamentaux, le travail, L , et les dotations de la nature, R^1 . La société produit ensuite l'extrait, Y , en utilisant ces dotations avec deux principaux ensembles d'avoirs créés, le capital physique, K , et le capital humain, H . La nature de la production pose des problèmes massifs, que nous tenons pour réglés, vu que nous voulons nous concentrer sur les intrants².

Nous donnons à la technologie une définition plus vaste que d'habitude. Pour nous, la technologie, c'est la façon de concevoir la création de valeur économique, tandis que la structure économique comprend la concrétisation de ces idées dans des choses comme les machines, l'implantation des usines, l'organisation et l'emplacement des entreprises, l'infrastructure et les institutions financières. Nos définitions de la technologie et de la structure sont exposées en

détail dans l'annexe de la version *in extenso* de notre communication.

Changement technologique

Les systèmes de technologie d'ensemble de toutes les économies en croissance évoluent selon des cheminements qui comprennent à la fois des petites améliorations marginales et des bonds occasionnels. Pour les distinguer, les enquêteurs définissent souvent deux catégories. L'innovation est *marginale* si elle représente l'amélioration d'une technologie existante. Elle est *radicale* si elle n'aurait pas pu évoluer par des améliorations marginales de la technologie qu'elle déplace-p. ex., les tissus artificiels n'auraient pas pu naître d'améliorations marginales des tissus naturels qu'ils ont remplacés dans une foule d'utilisations.

Une forme extrême d'innovation radicale est la technologie polyvalente (TPV). Les TPV ont en commun certaines caractéristiques importantes : d'abord technologies plutôt grossières ayant un nombre limité d'utilisations, elles se transforment en technologies beaucoup plus complexes, grâce à des augmentations spectaculaires de l'efficacité, à la multiplication de leurs utilisations dans l'économie et à la gamme des extraits économiques qu'elles aident à produire. Pendant qu'elles se répandent dans l'ensemble de l'économie, leur efficacité s'améliore et leur gamme d'utilisations s'accroît.

Arrivées à maturité, ces technologies sont largement utilisées à plusieurs fins différentes, et elles ont de nombreuses *complémentarités technologiques*, en ce sens qu'elles peuvent collaborer avec de nombreuses autres technologies, qu'elles obligent parfois à modifier, tout en créant une foule de possibilités pour l'invention de nouvelles technologies³. La locomotive à vapeur, la dynamo et le moteur à combustion interne sont des exemples de grandes TPV dans le domaine de la production d'énergie. Une chose importante à retenir au sujet des TPV, c'est qu'elles créent un nouveau programme de recherche pour l'invention et l'innovation. L'application du programme de recherche entraîne une croissance exponentielle des possibilités et perspectives. Puis, avec l'arrivée à maturité de la TPV, le nom-

bre de nouvelles possibilités créées par unité de temps peut régresser de façon continue, entraînant un recul ininterrompu des rendements de tout nouvel investissement dans l'invention et l'innovation. Noter que ce ne sont pas là les rendements décroissants, car le stock de capital croît lorsque la technologie est maintenue constante. Ce sont plutôt les rendements décroissants causés par une réduction du nouveau taux de création de nouvelles possibilités d'investissement avec l'arrivée à maturité de la TPV.

La nouvelle technologie est, la plupart du temps, intégrée dans de nouveaux biens de production, dont l'accumulation se mesure en tant qu'investissement brut. Ainsi donc, il y a une interrelation entre le changement technologique et l'investissement, ce dernier étant le véhicule qui introduit le changement technologique dans le processus de production. Tout ce qui ralentit le taux d'incorporation par l'investissement - comme des taux d'intérêt inutilement élevés - ralentit le taux de croissance, tout comme d'ailleurs le ralentissement du développement de la nouvelle technologie ralentit le taux de croissance à long terme. Donc, si le nouvel investissement et la nouvelle croissance de l'emploi peuvent « expliquer » statistiquement le gros de la croissance économique, il ne s'ensuit pas nécessairement qu'ils sont les principales causes de la croissance. Et le changement technologique et l'investissement sont nécessaires⁴.

Technologie constante

Puisque nous étudions les tentatives de mesure du changement technologique, le concept de la technologie constante est crucial. Pour maintenir la technologie constante sur le plan conceptuel, nous devons faire ce qui suit : tenir constantes toutes les technologies de produits, de procédés et d'organisation à leur niveau d'une période de base quelconque; accumuler plus de capital physique qui incorpore les technologies alors en usage, ou d'autres qui étaient connues mais non en usage; accumuler plus de capital humain sous forme d'une meilleure connaissance de ce qui était connu à l'époque. Puis calculer l'augmentation de production. C'est une mesure de ce qui aurait pu être réalisé sans modification du savoir technologique. Calculons maintenant

la croissance effective de la production. La différence est « attribuable au » changement technologique ou « rendue possible par » lui, en ce sens qu'elle aurait été impossible sans ce changement.

Mesurée à long terme - un siècle, par exemple - la différence due au changement technologique serait massive. Voici quelques exemples pour illustrer ce que révélerait l'expérience de la technologie constante.

- Nourrir 6 milliards de personnes avec les technologies agricoles de 1900 aurait été littéralement impossible⁵. Tôt ou tard, les obstacles malthusiens seraient devenus une réalité à mesure que des populations en constante expansion auraient eu à faire face à des pénuries alimentaires croissantes. (Entre autres choses, cela montre que la population et la population active ne peuvent être tenues pour indépendantes de la technologie.)
- La pollution serait devenue un problème massif. Selon nos normes, les technologies de 1900 étaient des plus polluantes, et une augmentation de production suffisante pour employer tout le nouveau capital aurait provoqué de grandes augmentations de pollution.
- L'épuisement des ressources aurait été plus sérieux. La plupart des nouvelles technologies représentent une économie absolue de ressources⁶. Ainsi, pour réaliser la production des biens et services d'aujourd'hui avec les technologies de 1900, il aurait fallu des ressources beaucoup plus abondantes que celles qui sont utilisées aujourd'hui.

Dans une autre illustration de ces points, les calculs faits par le Club de Rome dans les années 70 ont montré combien il est illusoire de penser qu'il est possible d'augmenter longtemps la production aux taux courants sans changement de technologie. Les prédictions apocalyptiques du Club ont été faussées par les progrès technologiques continus, qui ont invalidé ses calculs sur l'épuisement des ressources et la pollution impossible à soutenir. Mais ces prédictions erronées montrent quand même que les taux de croissance mondiaux actuels ne sauraient être soutenus pendant plus de quelques décennies dans un monde à technologie statique⁷.

Continuité et discontinuité du changement technologique

Les modèles de croissance agrégative utilisent une fonction de production agrégative de la forme : $Y = F(K, H, L)$. Ces modèles affichent un produit de marginalité sans cesse décroissante de capital physique et humain, qui n'est accru que par des augmentations graduelles continues de la constante de productivité A . Mais une des propositions les plus importantes retenue plus loin dans notre communication est que le changement technologique n'est pas comme cela. Il ne provoque pas de variations continues de la productivité marginale du capital au fur et à mesure de l'accumulation du capital et à mesure que le changement technologique modifie lentement mais continuellement la relation entre les intrants et les extrants. Ce sont plutôt les grands projets technologiques du type aujourd'hui appelé les nouvelles TPV qui causent les discontinuités d'occasions de nouvel investissement et transforment radicalement la relation entre les intrants et les extrants au niveau micro-économique. Comme l'exprimaient Lipsey et Bekar il y a quelque temps dans un autre contexte :

« [Lorsqu']une technologie se transforme dans le temps... sa productivité [peut] approcher une limite supérieure au-delà de laquelle toute nouvelle amélioration est difficile, sinon impossible. [Par contre,] lorsqu'une technologie est remplacée par une autre, puis par une troisième, il n'y a pas de raison de s'attendre à une relation particulière entre les accroissements de production qu'entraîne le passage d'une technologie à l'autre... Prenons, par exemple, les technologies successives de l'énergie... Les usines de la première révolution industrielle fonctionnaient à l'eau (K1). Puis, au début du XIXe siècle, elles ont fait la transition à la vapeur (K2). Ensuite, dans la période de 1890 à 1930, l'électricité a remplacé la vapeur... (K3). Dans un certain nombre d'années, la fission ou la fusion nucléaire pourrait remplacer les combustibles fossiles comme principal générateur de puissance pour l'électricité (K4). Et plus tard encore, l'électricité elle-même cédera le pas à quelque nouvelle source d'énergie, encore difficilement imaginable... (K5).

Prenons maintenant l'accroissement de la valeur totale de la production en dollars constants $[Y(K_{n-1}) - Y(K_n)]$, dont nous sommes redevables à chaque passage d'une technologie à la suivante. Peu importe comment on mesure l'impact, il n'y a aucune loi physique ou économique faisant que les accroissements au passage d'une technologie à l'autre doivent être ordonnés de la façon suivante :

$$[Y(K_2) - Y(K_1)] > [Y(K_3) - Y(K_2)] > [Y(K_4) - Y(K_3)] > [Y(K_5) - Y(K_4)]$$

De fait, on ne connaît actuellement pas de principes généraux qui laissent soupçonner une relation particulière, et nous pouvons en voir de nombreux différents dans l'histoire. L'expérience passée nous amène à croire que, au passage du temps, un changement technologique peut apporter des gains massifs, qui seront suivis d'un autre changement apportant des gains plus restreints, puis d'un autre apportant des gains plus considérables - et cela vaut dans chacun des nombreux domaines d'utilisation de la technologie.

Interprétant du potentiel de chaque TPV pour le programme de recherche en vue de l'invention et de l'innovation qu'il crée, Lipsey et Bekar disent que la richesse des programmes successifs associés aux TPV successives peut présenter n'importe quel rapport entre les divers programmes. Une TPV ne sera introduite que si elle est plus efficace que la technologie qu'elle remplace. Mais parmi les TPV qui répondent à ce critère, certaines auront un potentiel beaucoup plus riche d'innovation dépendante que d'autres. Certaines déboucheront donc sur des changements plus rapides et plus fondamentaux de technologie et de productivité que d'autres.

Y a-t-il un paradoxe de la productivité?

Les modèles de croissance exogène et endogène qui utilisent une fonction de production agrégative ne modélisent pas explicitement la technologie. Ils occultent la technologie et le changement technologique dans la boîte noire de la fonction de production agrégative qui transforme les intrants en production totale (PIB). La technologie est elle-même inobservable dans ces modèles, tandis que les changements de tech-

nologie ne s'observent que sous forme résiduelle lorsque les intrants mesurés n'ont pas contrepartie parfaite dans les variations des intrants mesurés. On considère que les variations du résidu de PTF mesurent les variations de la fonction de production et, par conséquent, qu'elles sont liées aux variations de technologie. Le paradoxe de la productivité, ainsi qu'il est convenu de l'appeler, a trait à l'observation micro-économique des grands changements technologiques associés à la révolution des TIC, combinée à l'observation des faibles taux de croissance de la productivité au niveau macro, mesuré par la PTF (et d'autres mesures de la productivité).

Nous ne reconnaissons pas l'existence d'un paradoxe de la productivité (si tant est que la productivité peut être mesurée correctement). Nous faisons valoir deux points essentiels brièvement dans le texte et plus en détail dans l'annexe, qui compare le modèle que nous utilisons pour dégager la croissance à long terme et le changement technologique avec les modèles macro-économiques types.

En premier lieu, les nouvelles technologies fondamentales, même là où elles augmentent considérablement la productivité et les niveaux de vie sur le long terme, ont typiquement de longues périodes de gestation. Elles ont souvent besoin de plusieurs décennies pour atteindre leur plein potentiel⁸. De même, toute la structure de l'économie - ce que nous appelons la structure de facilitation dans l'annexe - doit souvent être modifiée. Comme l'a souligné Paul David (1991), cela prend beaucoup de temps, de sorte que ces technologies pourraient ne révéler que de faibles retombées au niveau macro pour le court terme de plusieurs décennies, mais des rendements considérables sur le très long terme d'un demi-siècle ou plus.

En second lieu, et de façon beaucoup plus fondamentale, nous soutenons, par contraste avec les modèles macro mentionnés plus haut, qu'il n'y a pas de relation nécessaire entre les changements technologiques et les changements de productivité, peu importe comment les premiers sont mesurés. Ainsi, de 1770 à 1820, l'ensemble de la société britannique et tout le fondement de l'économie ont été transformés par la première révolution industrielle qui a sorti le travail des maisons pour l'envoyer dans les proto-usines - des hangars contenant des machines à main - et dans de vraies usines contenant des machines hydrauliques. Bien qu'il se soit agi là d'une transformation sociale et technologique fondamentale portant le germe d'une bonne partie de ce qui a suivi plus tard au XIXe siècle, les changements de productivité et de salaires réels étaient faibles ou inexistant (Crafts 1985)⁹. Par contraste, les changements associés à la deuxième phase de la révolution industrielle - celle où les usines ont commencé à fonctionner à la vapeur - combinés aux versions améliorées des machines textiles automatisées, ont provoqué une augmentation considérable de la productivité et des salaires réels par rapport à la période 1820-1870.

La conclusion à tirer de ces événements historiques et d'autres semblables est que la seule chose que nous puissions dire d'une nouvelle technologie qui remplace une technologie existante, c'est qu'il faut s'attendre qu'elle produise un gain quelconque (sans quoi elle ne serait pas adoptée). Mais la marge du gain, qui se mesure par des choses comme la réduction des coûts et/ou l'augmentation des recettes, peut être faible ou grande ou moyenne. Autrement dit, *les changements de productivité et les changements technologiques ne sont pas directement proportionnels, quantitativement parlant : de même, les changements de productivité mesurée ne sont pas nécessairement une indication de la profondeur d'une transformation technologique par laquelle passe la société.*

L'explicitation Des Ressources

Naturelles

Les problèmes que pose la productivité totale des facteurs comme mesure du changement technologique peuvent être illustrés par un contraste préliminaire entre deux positions. (Les problèmes sont étudiés en détail dans la version *in extenso* du présent document.)

Des prédictions contrastantes

La première est la prédiction découlant de la fonction de production agrégative néoclassique type selon laquelle le capital et le travail mesurés pourraient avoir augmenté à taux constant de 1900 à 2000 avec une technologie constante et sans changement des niveaux de vie. La seconde est l'argument que nous avons fait valoir dans la section précédente selon lequel cet événement aurait eu des effets catastrophiques sur les niveaux de vie.

Pour concilier ces positions conflictuelles, nous devons reconnaître que la prédiction néoclassique ne peut tenir si le capital nécessaire à la croissance ne comprend pas les intrants de ressources comme les terres agricoles, les ressources minérales, les écosystèmes d'« élimination des déchets », l'eau douce, les ressources et une foule d'autres choses dont ne tiennent pas compte les mesures types du capital. Inspirés par Solow (1957), cependant, les économistes définissent typiquement le stock de capital physique utilisé dans leurs modèles de croissance comme englobant le stock de ressources naturelles, de terres, de minéraux, de forêts, etc. Pourtant, tout ce qui entre alors dans l'hypothèse au sujet du capital est approprié pour le capital physique et humain et ne tient pas compte des problèmes particuliers des ressources naturelles. Ainsi, bien que l'on puisse augmenter plus ou moins sans limite les stocks d'installations de production, les stocks de terres arables et de ressources minérales sont soumis à des limites plutôt rigoureuses.

Puisque nous considérons que la société commence avec des personnes et ce que la nature offre, et puisque l'évolution des stocks de capital obéit souvent à des lois qui diffèrent de celles qui

régissent l'évolution des stocks de ressources naturelles, nous trouvons conceptuellement utile, dans nos théories, de séparer le stock de ressources naturelles du stock de capital physique créé. Le processus de production épuise les ressources naturelles, dont certaines, comme le pétrole, ne peuvent être remplacées, tandis que d'autres, comme les arbres et la fertilité du sol, le peuvent typiquement (mais pas invariablement). Les problèmes associés aux ressources renouvelables ne sont pas différents de ceux associés au capital physique. La plupart des ressources renouvelables comme l'air et l'eau, qui éliminent la pollution et font vivre les stocks de poissons, sont naturellement renouvelables jusqu'à un certain taux maximal d'exploitation, après quoi il faut les aider jusqu'à un niveau supérieur d'exploitation, au-delà duquel les stocks, mêmes aidés, peuvent se détériorer.

Pour comptabiliser ces stocks, nous devons déduire les ressources naturelles utilisées dans la production courante, et traiter comme investissement de capital brut les sommes consacrées au maintien des ressources existantes (p. ex., la productivité du sol) à la remise en état de celles qui ont été épuisées (p. ex., la reforestation) et à la découverte de nouveaux approvisionnements (comme l'exploration minérale). Chose importante, le progrès technologique modifie la valeur économique des ressources naturelles existantes. Certaines valeurs peuvent être baissées, comme lorsque l'invention du moteur électrique et du moteur à combustion interne a abaissé la valeur des réserves de charbon, tandis que d'autres peuvent être considérablement accrues (partant parfois d'une base de valeur nulle), comme lorsque l'avènement du moteur à essence et de l'automobile a considérablement accru la valeur des réserves de pétrole.

Ces changements des valeurs des ressources sont parfois créés consciemment par le changement technologique, comme lors de l'invention des méthodes d'utilisation des minerais pauvres et des terrils provenant des opérations antérieures. À d'autres moments, ils sont le résultat inconscient de progrès technologiques recherchés à d'autres fins, comme lorsque le moteur à combustion interne, qui a commencé comme moteur stationnaire alimenté au gaz de

houille, a finalement adopté les produits pétroliers comme combustible le plus efficace.

L'absence d'intrants de ressources explicites dans le modèle de croissance néoclassique ne pose pas de problème pour ce qui est du revenu, parce que toute la valeur des ressources consommées doit figurer comme revenu pour le travail et le capital que nécessitent leur extraction et leur transformation. Mais nous savons que les ressources sont des intrants importants dans toute fonction de production réelle. Rosenberg (1994) a démontré, par exemple, que l'*American System of Manufacturing*, qui a formé la base de l'initiative de relance de l'Europe par l'Amérique comme pays industriel de premier plan, était fondé sur des processus qui faisaient une utilisation abondante des ressources naturelles tout en économisant une main-d'œuvre rare. (Le capital était aussi généreusement utilisé au départ mais, par la suite, les innovations ont commencé à faire économiser le capital tout autant que le travail.)

Modélisation des ressources

Pour illustrer certains des problèmes liés à l'omission des ressources naturelles, posons la fonction de production sous-jacente :

$$(1) \quad Y = AK^\alpha L^\beta R^\delta \quad \alpha + \beta + \delta = 1$$

où K est le capital produit et R les ressources naturelles, les terres agricoles, les forêts, les minéraux, l'air, l'eau, etc.

Ensuite augmentons K et L à taux constant u . Si rien d'autre ne se produit, il y aura des rendements décroissants, étant donné que plus de travail et de capital sont appliqués à une base de ressources donnée. La production augmentera au taux $(\alpha + \beta)u$, de sorte que le revenu réel par habitant se contractera. ($Y_t = Y_0 e^{(\alpha + \beta)t}$, qui, puisque $\alpha + \beta < 1$, est une série en régression.)

Réaffectons maintenant une part de la formation du capital à la création de changement technologique dans les industries de ressources. Les nouvelles technologies sont économiseuses de ressources (comme il ressort des preuves citées plus haut). Supposons que, grâce à la R-D, les ressources augmentent aussi au taux u , mesuré en unités d'efficacité. (C'est exactement la même chose que le changement technologique neutre de Harrod, sauf que l'intrant dont l'efficacité

croît est les ressources plutôt que le travail.) Le revenu, le capital et le travail croissent désormais au taux u , tandis que le revenu par habitant ne chute plus. Cependant, si nous mesurons R en unités physiques, R sera constant, tandis que a augmentera au taux δu .

Si nous prenons maintenant les données générées par (1) et y intégrons une fonction de production à rendement d'échelle constant où se trouve R , nous obtiendrons une adéquation parfaite avec l'équation :

$$(2) \quad Y = BK^\epsilon L^{1-\epsilon}$$

où $B = AR^\delta$ et dépassera selon la part du capital des coûts dans les ressources de production et $1 - \epsilon$ dépassera β selon la part des salaires dans les coûts des ressources. Ainsi, nous pouvons expliquer la totalité du processus de croissance qui est effectivement piloté par le « changement technologique d'amélioration des ressources » par une fonction de production à rendement constant ne renfermant que deux intrants, K et L , et avec un paramètre de productivité inchangé. Ainsi donc, la PTF sera zéro et l'augmentation de production sera attribuée aux augmentations de travail mesuré et de capital mesuré.

Nous concluons que, parce que les ressources ne sont pas spécifiquement modélisées dans le modèle de croissance néoclassique, une bonne part de la quantité considérable de changement technologique qui entre dans l'accroissement de la productivité de ressources naturelles données prendra la forme d'augmentations de capital, de travail (et, selon les procédures comptables, peut-être aussi de R-D) plutôt que de changements dans la fonction de production.

À remarquer que cela entre en conflit avec la façon dont Griliches traite les intrants non consignés dans son analyse des erreurs de mesure de la PTF. Il fait valoir - et c'est plausible - qu'une augmentation de tout intrant mesuré entraînerait une augmentation de production sans augmenter les coûts mesurés, et donc une augmentation de la PTF mesurée. *Notre analyse montre que le changement technologique qui accroît l'efficacité d'un intrant non mesuré peut se traduire par une augmentation des coûts mesurés et, donc, une sous-estimation de la PTF. C'est l'une des nombreuses raisons pour lesquelles les variations de PTF ne mesurent pas le changement technologique*¹⁰.

Conclusions

Voici certaines des conclusions que notre étude a dégagées et des préoccupations qu'elle a soulevées au sujet de la PTF.

- La PTF ne peut mesurer simultanément tout le changement technologique et uniquement les cadeaux gratuits venant des externalités et des effets d'échelle.
- Les améliorations de technologie, comme le moteur à combustion interne, n'entraînent pas toutes « clairement une augmentation de la PTF ».
- Les accroissements de production qui n'auraient pas eu lieu sans changement technologique (c.-à-d. dont le changement technologique est une condition nécessaire) n'entraînent pas nécessairement un accroissement de la PTF.
- La PTF ne mesure pas « les perspectives d'accroissement à long terme de la production » puisque, entre autres raisons, les nouvelles TPV tendent à être associées aux coûts initiaux et aux avantages d'aval.
- Il y a des raisons de soupçonner que la PTF ne reflète pas fidèlement l'augmentation de la valeur du capital d'une entreprise créée par les activités de R-D qui sont réalisées par la vente plutôt que par l'exploitation au sein de l'entreprise en développement. Pourtant, ce sont souvent des progrès technologiques créés par l'utilisation de ressources précieuses.
- La PTF ne saisit pas bien les effets des changements technologiques qui opèrent en abaissant le coût des petites entreprises, et augmentant ensuite considérablement les ventes et les productions.
- La PTF mesure mal la quantité massive de changement technologique qui se trouve incorporé dans le capital physique où le changement a tendance à être compté comme augmentations de capital plutôt que comme changement de productivité.
- Lorsque le plein équilibre n'est pas réalisé, comme en cours de tout processus d'ajustement différé, les équivalences marginales nécessaires au succès de l'agrégation ne se concrétisent pas et il est très probable que les augmentations de productivité du travail et du

capital seront comptabilisées comme augmentations des quantités d'intrants de travail et de capital.

- Les technologies nouvelles débouchent souvent sur d'importants coûts initiaux de R-D et d'apprentissage par l'expérience qu'il faut engager dans l'attente des retombées futures qui seront perdues lorsque les intrants courants seront rattachés aux coûts courants. La quantité de cette activité peut varier avec le cycle de vie des PTF et d'autres grandes technologies; de même, par conséquent, la PTF mesurée peut varier.
- Ni la PTF ni les externalités ne mesurent les complémentarités technologiques par lesquelles l'innovation dans un secteur confère un avantage aux autres secteurs - un avantage que les autres secteurs seraient disposés à payer mais n'ont pas à payer.
- En outre, la faiblesse des chiffres de PTF des cinq dragons ne les met pas dans le même bateau que la Russie communiste; ils sont très compatibles avec les politiques d'amélioration de la technologie et de transformation technologique d'un pays par le capital généré à l'interne ou importé.
- La PTF est autant une mesure de notre ignorance qu'une mesure de quelque chose de positif.

Il nous semble que ce que mesure la PTF - la façon de répondre à cette question a de quoi préoccuper - n'est sûrement pas le changement technologique. À long terme, nous nous intéressons aux augmentations de production par unité de travail, de ressources (et d'attentes au sens autrichien du terme). Alors que les personnes sont, bien sûr, libres de mesurer tout ce qui leur semble intéressant, le degré de confusion entourant la PTF, et particulièrement l'hypothèse selon laquelle les faibles chiffres de PTF traduisent un faible degré de dynamisme technologique, semblerait nous autoriser à éliminer d'emblée cette mesure de toutes les analyses de la croissance économique à long terme. Même si cela ne se produit pas - et nous sommes sûrs que cela ne se produira pas - chaque mesure de la PTF devrait être assortie de la mise en garde : *les variations de PTF ne mesurent en rien le changement technologique.*

Notes

- * Cet article est tiré d'un texte beaucoup plus long du même titre, que l'on trouve à www.sfu.ca/~rlipsey. Courriel : Richard G. Lipsey: rlipsey@sfu.ca; Ken Carlaw: k.carlaw@econ.canterbury.ac.nz
- 1 Ce qui vient de la nature est exogène, mais des ressources semblables peuvent aussi être créées par l'effort humain, comme lorsqu'une forêt est replantée ou un lac réensemencé.
 - 2 Comme nous le faisons valoir plus loin, l'importance du changement technologique se situe au niveau de la prévention du recul de la productivité marginale du capital qui serait inévitable dans une hypothèse de technologie constante. Une force semblable opère du côté de la production. Si la technologie des biens et services de consommation avait été maintenue constante au niveau qui existait à un point donné dans le temps, par exemple, en 1900, la diminution de l'utilité du revenu serait une réalité, car les consommateurs n'auraient que faire d'une troisième et l'une quatrième voiture à cheval ou d'un train pour aller au bord de l'eau. Les changements technologiques dans les biens de consommation présentent constamment aux consommateurs de nouvelles possibilités de consommation et éliminent au moins l'inévitabilité d'une utilité marginale en rapide diminution du revenu avec l'augmentation du revenu dans le temps (ce qui n'empêche pas l'utilité marginale du revenu de fléchir à un certain moment donné-lorsque, par nécessité, la technologie est constante).
 - 3 Pour une étude détaillée de ces caractéristiques et un développement de la définition qui suit dans le texte, voir Lipsey, Bekar et Carlaw, ch. 2 in Helpman (1998). L'ensemble de l'ouvrage est utile dans l'étude des TPV.
 - 4 Néanmoins, considérons le choix entre deux cas polaires : on peut soit vivre dans une société dans laquelle la technologie a avancé mais n'a été incorporée que par un « investissement de remplacement », puisque l'investissement net (et donc l'accumulation mesurée du capital) était zéro, soit dans une société dans laquelle rien n'est connu qui ne l'était pas en 1900 et dans laquelle plus en plus d'investissements ont été faits dans des biens de production des années 1900 pour la production de biens et de services de l'époque. Nous parions que la plupart des gens préféreraient la première branche de l'alternative, comme Solow l'a observé il y a déjà longtemps : « On pourrait imaginer que ce processus [de croissance] puisse intervenir sans formation nette de capital, où les biens de production de l'ancien temps sont remplacés par les modèles dernier cri, de façon que le ratio capital-travail n'ait pas à changer systématiquement. » (Solow, 1957:316)
 - 5 Certes, la population est endogène, et on ne sait pas clairement quelle aurait été sa croissance si les technologies de production alimentaire étaient demeurées bloquées à leurs niveaux de 1900. Cependant, les pratiques occidentales de salubrité avaient déjà abaissé les taux de mortalité à l'Occident et amené de fortes augmentations de l'espérance de vie qui ont provoqué une explosion démographique, et ces pratiques étaient déjà en voie d'extension aux pays moins développés. Ainsi, il y aurait sûrement eu une grande expansion démographique quelconque.
 - 6 « Le total des besoins de matériaux par unité de PIB (constant) a diminué de 1,3 % par an en Allemagne, de 2 % par an au Japon, et de 2 % par an aux Pays-Bas. » (Grubler : 240).
 - 7 Se pose un autre problème pour la modification du ratio capital-travail en régime de technologie fixe. Dans la mesure où l'augmentation de population et le nouveau capital ne sont qu'une copie des installations de production existantes dotées de nouveaux travailleurs, la production peut être accrue selon des rendements d'échelle plus ou moins constants. Mais ce processus emploie plus de personnes, tout en gardant constants leur productivité et, partant, leurs salaires réels et leur niveau de vie. Pour relever les niveaux de vie avec une technologie statique, il faut accroître le rapport capital-travail. Certes, les technologies nouvelles le font souvent, mais les technologies existantes, surtout dans la fabrication, ont typiquement peu de marge pour varier le rapport capital-travail, les proportions des facteurs y étant plus ou moins intégrées. Il serait impossible, par exemple, de prendre une usine conçue en 1900 pour la production de locomotives à vapeur et d'accroître de 500 % la quantité de capital par travailleur. Il y avait de la marge pour la substitution du capital au travail dans la technologie existante de la construction de locomotives à vapeur, mais pas beaucoup. Donc, si l'économie devait croître par une augmentation du capital par tête en passant de son niveau de 1900 à son niveau de 2000 sans changement de technologie, il serait de plus en plus difficile de trouver des endroits où le capital supplémentaire pourrait être mis à profit. Une bonne part se retrouverait dans des activités non manufacturières, tandis que les secteurs de la fabrication, qui ont constitué, de fait, certaines des principales sources d'accroissement des niveaux de vie tout au long du XXe siècle, se poursuivraient tels quels, avec peu d'augmentation du capital par tête.
 - 8 Pour une description plus détaillée de l'évolution d'une TPV, voir Lipsey, Bekar et Carlaw, chapitre 2 in Helpmate (1998).
 - 9 Autre donnée intéressante : la vieille technologie des tisseurs de tapis sur métier à bras a persisté pendant plus de 50 ans aux côtés de la nouvelle technologie du tissage automatisé. Le nombre de tisserands et leurs salaires n'ont pas cessé de régresser, mais le processus a mis beaucoup de temps. Cela n'aurait pas pu se produire si la nouvelle technologie avait été radicalement plus efficiente que l'ancienne, ce qui illustre que le grand changement technologique n'entraîne pas nécessairement de grands gains de production.
 - 10 C'est une mise en garde qui s'impose pour les modélisateurs macro et ceux qui calculent la PTF à partir de données agrégées. Cependant, les études de l'industrie qui comptent les ressources comme intrants d'industries d'aval et comme extrants d'industries de base peuvent saisir ces gains de productivité en montrant un recul *ceteris paribus* des intrants de ressources. (Par contre, nous devrions savoir bien mieux que nous le savons aujourd'hui si ce gain serait ou pas éliminé par l'agrégation de l'ensemble des secteurs.)