

## 9<sup>ème</sup> colloque de comptabilité nationale (ACN-Eurostat-Insee-UIP)

### « Définitions et mesures des technologies de l'information et de la communication : Enjeux et paradoxes ».

Auteurs :

- *Hélène Baudchon*, chargée d'études économiques à l'OFCE.
- *Olivier Brossard*, professeur à l'université de Savoie.

#### Résumé en Français :

De nombreuses innovations ont été introduites dans les comptes nationaux pour tenter d'obtenir une meilleure évaluation de l'impact de la diffusion des technologies de l'information et de la communication (TIC dans la suite) : nouvelles définitions du champ ; transfert des achats de logiciels en investissement et non plus en consommations intermédiaires ; calculs d'indices de prix par la méthode hédonique ou par appariement, etc. Pourtant, il n'existe pas aujourd'hui un consensus beaucoup plus net sur l'impact de la diffusion des TIC. Le but de cet article est de proposer quelques explications de ce relatif échec.

Les débats sur la mesure des TIC se sont en effet focalisés sur deux questions : 1) Y-a-t-il des gains substantiels de productivité globale des facteurs (PGF) liés à la diffusion des TIC ou bien est-ce juste une histoire d'accélération de l'accumulation de capital ? 2) Si gains de PGF il y a, sont-ils concentrés dans les secteurs producteurs de TIC, comme l'affirme Robert J. Gordon, ou bien se diffusent-ils aussi aux secteurs utilisateurs ?

Cette grille d'analyse ne permet pas d'évaluer correctement la capacité des TIC à générer de la croissance à long terme. Il y a selon nous deux grandes raisons à cela. Tout d'abord les résultats empiriques actuels sous-estiment très probablement les gains de PGF des secteurs utilisateurs de TIC pour diverses raisons (caractère arbitraire de l'application de la méthode hédonique ; insuffisante correction des effets qualité ; effet Denison lié aux inputs non mesurés, etc.). D'autre part, même si cette sous-estimation n'existait pas, il nous semble que la deuxième question manque de pertinence théorique : elle se réfère à une représentation mono-sectorielle de la croissance, alors qu'une représentation bi-sectorielle permet de vérifier, théoriquement et empiriquement, que des gains de PGF concentrés dans les secteurs producteurs de TIC peuvent tout à fait générer à eux seuls une accélération durable de la croissance.

Il y a donc deux sortes de problèmes dans les évaluations quantitatives de la « nouvelle économie » : elles sont encore très imparfaites ; elles sont interprétées selon des fondements théoriques contestables.

L'article s'organise autour de deux parties. La première fait un bilan rapide de l'adaptation de la comptabilité nationale américaine à la « nouvelle économie » et souligne ensuite les limites des changements intégrés. La deuxième partie critique la thèse de R. Gordon selon laquelle les TIC n'ont pas généré assez de gains de PGF dans les secteurs utilisateurs pour que l'on puisse parler d'une « troisième révolution industrielle ». Cette critique s'appuie sur deux sortes d'arguments : les premiers montrent que les gains de PGF des secteurs utilisateurs sont probablement sous-estimés ; les seconds montrent que la décomposition des gains de productivité peut donner lieu à plusieurs sortes d'erreurs d'interprétation.

## English summary :

### « Definitions and measures of ICT impact on growth : What really is at stake ».

*Hélène Baudchon and Olivier Brossard<sup>1</sup>*

Many innovations have been introduced in national accounts in order to better gauge the information and communication technologies (ICT) diffusion impact : new ICT definitions ; recognition of business and government software expenditures as fixed investment ; hedonic price index. Nevertheless, there still does not exist any clear consensus about the magnitude of the ICT impact on growth. Our aim is to propose some explanations of this relative failure and to show that the debate should not be exclusively focused on quantitative methods.

To this end, we take a close look at the two main questions concerning the debate surrounding the measure of the ICT impact : 1) Are there any substantial total factor productivity (TFP) gains generated by ICT diffusion or is it only a classic story of capital deepening ? 2) If there are indeed TFP gains, are they limited to ICT producers, as Robert J. Gordon claims, or is there any diffusion to ICT users ?

We think that this grid of analysis is not satisfactory and will not permit to correctly assess whether ICT are able to generate a growth acceleration. The reasons for this failure are twofold. First the empirical results probably underestimate TFP growth (and acceleration) outside the “new economy” sectors. Secondly, even if it was not the case, there is no sound theoretical ground for considering that a global TFP acceleration is necessary to trigger a long term growth acceleration. Indeed, a two sector model allowed Greenwood and Jovanovic (1998) to show that most of the post-war growth could be explained by TFP gains in the equipment sector.

The text is divided into two parts. The first one makes a quick assessment of the adaptation of American national accounts to the «new economy », and then underlines the limits of these changes. The second one shows that the economic debate on the importance of TFP gains acceleration and where they occur is blurred by two kinds of problem : first, TFP gains outside the new economy are probably much more important than usually measured ; second, even if we can admit that they are so weak outside the new economy, it is still possible to believe that it is enough to spark a long productivity revival.

---

<sup>1</sup> Respectively economist at the OFCE and professor of economics at the University of Savoie.

**L'ADAPTATION DE LA COMPTABILITE NATIONALE A LA « NOUVELLE ECONOMIE » : UNE REPOSE SATISFAISANTE ? \_\_\_\_\_ 4**

**1) L'évolution de la comptabilité nationale américaine \_\_\_\_\_ 4**

**2) Les limites de ces innovations \_\_\_\_\_ 6**

Les indices de prix hédoniques sur-estiment-ils la baisse des prix ? \_\_\_\_\_ 7

Les pièges du partage volume / prix de la valeur de l'investissement \_\_\_\_\_ 8

La correction des effets qualité est partielle, voire partielle

**ARGUMENTS POUR UNE DISCUSSION DE LA THESE DE R. GORDON \_\_\_\_\_ 11**

**1) Le schéma de diffusion peut différer d'une révolution industrielle à l'autre \_\_\_\_\_ 13**

**2) L'effet Denison dû aux inputs non mesurés et à l'hétérogénéité des intensités capitalistiques 13**

**3) Les erreurs sur l'origine des gains de productivité ne viennent pas que de problèmes de mesure \_\_\_\_\_ 13**

**4) Localisation des gains de PGF et croissance durable : un faux débat \_\_\_\_\_ 16**

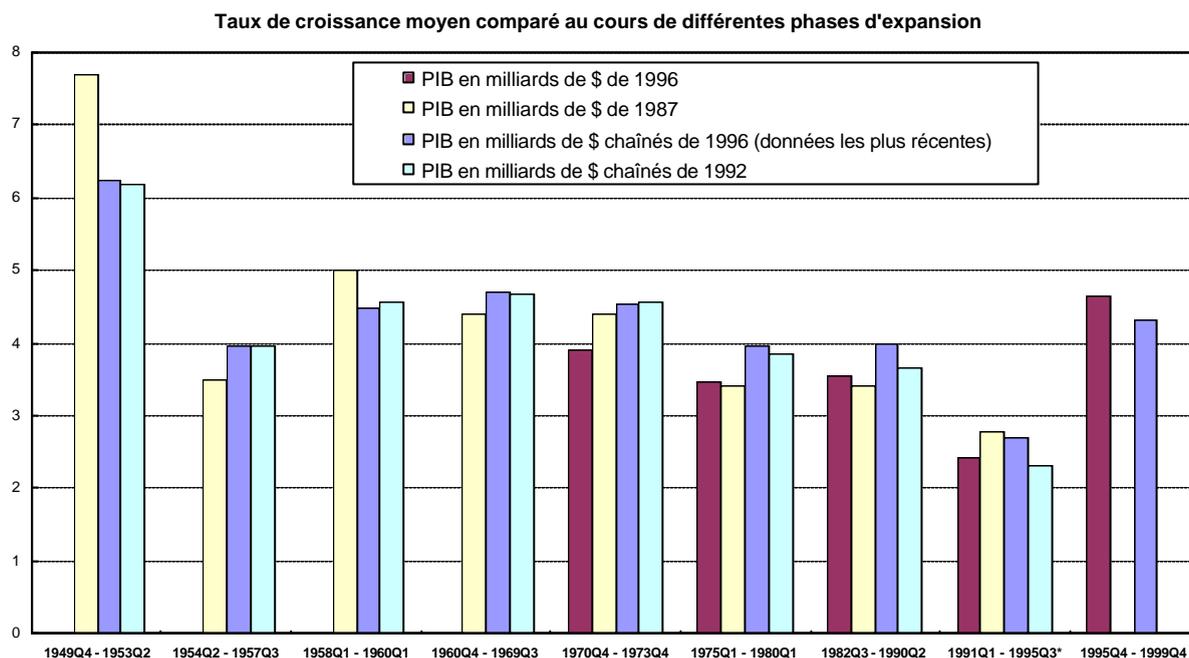
La définition la plus simple du concept de « nouvelle économie » se fonde sur les caractéristiques principales du cycle économique américain actuel. Entre 1992 et 2000, le taux de croissance annuel moyen a été de 3,7%, les gains de productivité horaire du travail dans le secteur marchand de 2,2 % par an, et dans le secteur manufacturier de 4,3 %. Ils sont donc largement supérieurs à la tendance de long terme (1974-1999) de 1,6 % par an dans le secteur marchand et de 2,9% dans le secteur manufacturier. L'inflation moyenne sur cette même période a été de 2,6% alors que le taux de chômage perdait 3,5 points, passant de 7,5% en 1992 à 4% en 2000. Cette performance était d'autant plus impressionnante que les années récentes ne manifestaient, jusqu'au troisième trimestre 2000, aucun signe d'essoufflement, contrairement au schéma cyclique habituel. C'est donc l'ampleur, la durabilité et le caractère vertueux du cycle actuel qui a suscité l'émergence du terme de "nouvelle économie". Malgré des caractéristiques macroéconomiques bien balisées, la confusion reste pourtant grande sur ce que ce terme de "nouvelle économie" signifie. La littérature américaine a assez largement couvert ce sujet, dont nous avons fait une synthèse dans un article publié en janvier 2001<sup>2</sup>.

L'objectif du présent papier est d'évaluer la portée de certains problèmes de mesures inhérents au débat sur la « nouvelle économie ». En effet, si la croissance américaine a été aussi dynamique pendant la deuxième moitié des années 1990, c'est en partie parce que les statistiques qui mesurent cette croissance ont évolué pour mieux rendre compte des changements structurels en cours. Les deux révisions complètes des comptes nationaux américains, d'abord celle de 1995 puis celle de 1999, par les changements qu'elles ont introduit, ont contribué à rehausser le taux de croissance annuel moyen (graphique). Entre 1972 et le troisième trimestre 1995 (dernier point pour lequel on dispose de données en dollars de 1987), le taux de croissance annuel moyen a été de 2,7% sur la base de données en dollars de 1987, mais de 2,9% sur la base de données en dollars chaînés de 1992, puis de 3,1% sur la base de données en dollars chaînés de 1996. De même, l'utilisation depuis décembre 1985 des indices de prix hédoniques contribue à la forte progression des volumes. Mais paradoxalement, dans le cadre du débat sur le processus de diffusion des technologies de

---

<sup>2</sup> Baudchon et Brossard (2001).

l'information et de la communication, ces efforts pour améliorer la lisibilité des statistiques ont au contraire contribué à complexifier leur interprétation.



\* 1995Q3 est le dernier point disponible pour les données en \$ de 1987

Source : Bureau of Economic Analysis.

L'article s'organise autour de deux parties. La première fait un bilan rapide de l'adaptation de la comptabilité nationale américaine à la « nouvelle économie » et souligne ensuite les limites des changements intégrés. La deuxième partie critique la thèse de R. Gordon selon laquelle les TIC n'ont pas généré assez de gains de productivité globale des facteurs (PGF) dans les secteurs utilisateurs pour que l'on puisse parler d'une « troisième révolution industrielle ». Cette critique s'appuie sur deux sortes d'arguments : les premiers montrent que les gains de PGF des secteurs utilisateurs sont probablement sous-estimés ; les seconds montrent que la décomposition des gains de productivité peut donner lieu à plusieurs sortes d'erreurs d'interprétation.

## L'ADAPTATION DE LA COMPTABILITE NATIONALE A LA « NOUVELLE ECONOMIE » : UNE REPOSE SATISFAISANTE ?

### 1) L'évolution de la comptabilité nationale américaine

L'adaptation de la comptabilité américaine à la « nouvelle économie » est paradoxalement antérieure à l'émergence même du concept. En effet, les indices de prix hédoniques ont été introduits dès décembre 1985. La révision complète des comptes nationaux de 1995 a introduit les indices chaînés, remédiant ainsi au biais de substitution commun aux indices à pondérations fixes et donc contribuant à une meilleure prise en compte de la déformation des prix relatifs et à une meilleure mesure de la croissance économique à long terme<sup>3</sup>. La révision complète de 1999 s'est faite quant à elle au moment du boom de la

<sup>3</sup> Les produits dont les prix relatifs diminuent tendent à avoir une croissance plus rapide de leur volume, ce qui conduit à une sous-estimation de la croissance pour les périodes antérieures à la période de référence et à une sur-estimation de la croissance pour les années postérieures. Afin de limiter ce biais pour les années récentes, les indices étaient périodiquement « re-basés », mais alors que la croissance récente était plus correctement évaluée

« nouvelle économie » et apparaît de ce fait à la fois salutaire (en reconnaissant les achats de logiciels comme investissement) mais partielle (en dopant statistiquement la croissance).

La révision de 1995 a abouti à une réévaluation à la hausse de la croissance annuelle moyenne du PIB d'environ 0,2 point entre 1972 et 1995, mais aussi à une correction à la baisse sur la première moitié des années 1990, le biais de substitution (qui tend à surestimer la croissance sur les dernières années) ne jouant plus<sup>4</sup>. Ainsi le taux de croissance annuel moyen du PIB entre le premier trimestre 1991 et le deuxième trimestre 1995 a-t-il été réduit de 0,5 point, et environ 3/5<sup>ème</sup> de cette réduction tient à la baisse du prix des ordinateurs (Landefeld et Grimm, 2000). Si l'expérience américaine devait servir de guide, ce serait pour inciter à une introduction simultanée des indices chaînes et des indices de prix hédoniques. En effet, intégrer ces deux changements en même temps dans les comptes modère l'impact sur la croissance de la baisse du prix du matériel informatique, et peut même complètement la compenser en éliminant le biais de substitution associé aux produits non informatiques dont les prix baissent aussi. Cet effet compensateur sera particulièrement important pour les pays petits producteurs d'ordinateurs : en effet, si un pays est un grand importateur de ces produits, il pourrait n'y avoir aucun impact sur le PIB, car l'augmentation du volume d'investissement sera compensée par l'augmentation du volume d'importations.

La révision de 1999 a encore ajouté 0,2 point de croissance par an entre 1972 et 1995 grâce essentiellement au nouveau traitement des achats de logiciels, ces derniers étant dorénavant comptabilisés comme investissement et non plus comme consommation intermédiaire<sup>5</sup>. Par rapport aux comptes précédents, l'impact sur la croissance de ce changement est négligeable avant 1977, et il prend vraiment de l'importance à partir de 1992. Entre 1977 et 1992, le taux de croissance annuel moyen du PIB est révisé à la hausse de 0,3 point (à 2,9% selon les chiffres d'alors<sup>6</sup>) et, entre 1992 et 1998, de 0,4 point (à 3,6% selon les chiffres d'alors<sup>7</sup>). Plus précisément, le taux de croissance annuel moyen entre le premier trimestre 1991 (soit le début du cycle actuel) et le deuxième trimestre 1999 (dernier point pour lequel on dispose de données en dollars chaînés de 1992) a été rehaussé de 0,4 point à 3,5%.

Cette augmentation du taux de croissance moyen du PIB s'est également répercutée sur la croissance de la productivité. Avec les comptes précédents, les gains de productivité tendanciels moyens dans le secteur marchand étaient de 1,1% entre 1977 et 1992, puis de 1,6% entre 1992 et 1998. Avec les nouveaux comptes (sur la base des données disponibles avant la dernière révision de juillet 2001), ces gains sont de 1,4% entre 1977 et 1992, puis de 2% entre 1992 et 1998. L'accélération des gains sur la dernière période par rapport à la

---

(car les pondérations reflétaient plus correctement les prix en vigueur dans l'économie pour les périodes récentes), la croissance passée l'était évidemment beaucoup moins. Il y avait ainsi une révision de l'histoire économique à chaque changement d'année de base. Les estimations de données en volume réalisées à partir d'indices chaînes sont la meilleure méthode pour comparer le niveau de séries données au cours du temps parce qu'elles sont déflatées par les prix en cours à la période étudiée et non par un prix à une date de référence. Pour l'analyse cyclique, l'utilisation d'indices chaînes donne une image plus correcte de la vigueur des reprises et de la profondeur des récessions, alors que l'utilisation d'indices à pondérations fixes aboutissait à affaiblir les récessions et les reprises et donc à déformer la lecture de la croissance économique à long terme.

<sup>4</sup> Pour une présentation complète de cette révision, voir les numéros de juillet et de septembre à décembre 1995 du *Survey of Current Business*.

<sup>5</sup> Pour une présentation complète de cette révision, voir les numéros d'août à décembre 1999 du *Survey of Current Business*. Le taux de croissance moyen sur cette période, calculé sur la base de ces nouveaux comptes mais avec des pondérations fixes de 1996, n'est que de 2,7%, contre 3,1% sur la base de dollars chaînés de 1996. Cet écart rend bien compte de l'intérêt des pondérations chaînées.

<sup>6</sup> Seskin (1999).

<sup>7</sup> Suite aux révisions annuelles de juillet 2000 et 2001, ce taux de croissance est aujourd'hui de 3,7%.

tendance de long terme 1974 – 1998 ressortait déjà dans les comptes précédents (le rythme tendanciel étant de 1,3%) ; elle est très légèrement plus marquée avec les nouveaux comptes, le rythme tendanciel étant de 1,6%. Mais le fait d'arrêter les calculs en 1998 sous-estime cette accélération puisque les gains de productivité ont continué d'accélérer jusqu'à la mi-2000. Les gains annuels moyens entre 1992 et 2000 sont de 2,4%, soit une accélération de 0,8 point par rapport à la tendance de long terme (et non de «seulement » 0,3 point avec les anciens comptes). Dans la mesure où, aujourd'hui, on considère 1995 comme l'année de la rupture à la hausse des gains de productivité, on peut aussi comparer l'accélération des gains entre la première et la deuxième moitié de la décennie 1990. Avec les anciens comptes, l'accélération, entre 1992 – 1995 et 1995 – 1998, est de 0,3 point, alors qu'avec les nouveaux comptes elle est, entre ces mêmes dates, de 0,2 point, mais de 0,7 point entre 1992 – 1995 et 1995 – 2000.

Ces différents chiffres semblent enfin résoudre le paradoxe de la productivité et constituent la base statistique du débat sur la diffusion des TIC. Les études utilisant les chiffres les plus récents aboutissent à des conclusions dans l'ensemble optimistes sur cette diffusion alors que celles reposant sur des chiffres plus anciens ne parviennent pas à mettre en évidence quoi que de soit de significatif<sup>8</sup>. Pour autant, le débat est loin d'être clos, à la fois pour des raisons méthodologiques que nous évoquons ci-dessous, et parce que la comptabilité nationale, dans sa volonté de mesurer au mieux la croissance économique et de mieux rendre compte du développement des TIC, va continuer à réviser ses comptes. L'adaptation de la comptabilité nationale aux changements économiques est un processus sans fin et d'autant plus délicat que ces changements sont rapides, comme c'est le cas actuellement. Malgré les progrès réalisés, de nombreuses améliorations doivent encore être apportées et de nombreux chantiers restent à explorer, laissant supposer d'autres révisions de la croissance<sup>9</sup>. Bien qu'*a priori* on s'attende à ce que ses révisions soient plutôt à la hausse, la dernière révision annuelle de juillet 2001 des comptes américains est un contre-exemple<sup>10</sup>. La meilleure comptabilisation des achats de logiciels (à partir de nouvelles données du *Census Bureau*) a abouti à une révision à la baisse de 0,9 point de la croissance du PIB et de 1,1 point de la croissance de la productivité en 2000. Les gains moyens entre 1995 et 2000 ne sont donc plus « que » de 2,3% contre 2,6% avant cette révision, et l'accélération par rapport à 1992 – 1995 de 0,4 point. Les prochaines études qui traiteront de la diffusion des TIC sur la base de ces chiffres et de la nouvelle classification industrielle NAICS, qui a commencé à être incorporée dans les nouveaux comptes, sont susceptibles de donner encore une nouvelle orientation et dimension au débat.

## 2) Les limites de ces innovations

Si la comptabilisation des achats de logiciels comme investissement et non plus consommation intermédiaire ne pose pas vraiment de problèmes, l'utilisation d'indices de prix hédoniques (encadré 1) semble plus problématique du fait de son impact sur le partage volume / prix de la valeur de l'investissement et sur la PGF et, dans une moindre mesure, du fait des incertitudes sur la qualité de sa mise en application<sup>11</sup>.

---

<sup>8</sup> En plus des références déjà citées dans Baudchon et Brossard (2001), on pourra également lire sur ce sujet de la diffusion des TIC les articles récents de Baily et Lawrence (2001), Nordhaus (2001) et Stiroh (2001).

<sup>9</sup> Pour une présentation synthétique et générale de ces questions, on pourra se référer à l'article de Landefeld et Fraumeni (2001) et aussi à celui de Haltiwanger et Jarmin (1999).

<sup>10</sup> Voir pour une présentation de cette révision le numéro d'août 2001 du *Survey of Current Business*.

<sup>11</sup> Lequiller (2001) souligne que les conventions statistiques de partage dépenses finales / dépenses intermédiaires biaisent plus la comparaison des comptes français et américains que les différences dans la mise en application des méthodes hédoniques.

## Les indices de prix hédoniques sur-estiment-ils la baisse des prix ?

Le débat s'est récemment focalisé sur l'impact de l'utilisation d'indices de prix hédoniques sur la mesure des dépenses réelles d'informatique : dans quelle mesure ces indices de prix sont-ils responsables de l'accélération de la croissance du PIB et des gains de productivité ainsi que de la modération de l'inflation depuis 1995 ?

### Encadré 1 : Le partage volume / prix de la valeur de l'investissement<sup>1</sup>

Deux approches peuvent être distinguées pour le partage volume / prix de la valeur de l'investissement. Dans l'**approche aux coûts des facteurs**, le volume d'un bien d'investissement évolue selon les quantités de facteurs nécessaires à sa production, quelle que soit par ailleurs l'évolution de ses performances productives. Dans l'**approche aux services producteurs**, le volume de ce même produit d'investissement évolue selon les modifications de ses performances productives, quelle que soit par ailleurs l'évolution des quantités de facteurs nécessaires à sa production. L'application concrète d'une approche aux services producteurs est évidemment très difficile à effectuer pour de nombreux biens. La méthode hédonique et la méthode d'appariement visent à s'en approcher. **La méthode hédonique** de partage volume / prix des biens d'équipement consiste, dans sa version la plus fréquente, à estimer économétriquement le prix des produits auxquels on s'intéresse (par exemple les micro-ordinateurs) sur un ensemble de caractéristiques techniques (mémoire, poids, vitesse...).<sup>2</sup> Cette méthode présente quelques défauts, dont l'instabilité des coefficients des régressions, l'inutilité de certaines caractéristiques pour les utilisateurs, et inversement la mauvaise prise en compte des externalités vraiment satisfaisantes pour les utilisateurs. **La méthode d'appariement** consiste à calculer l'évolution, d'une période à l'autre, des prix des produits auxquels on s'intéresse par l'évolution des produits présents sur le marché les deux périodes successives, les pondérations étant celles des quantités de la période initiale.

1. Cet encadré reprend les définitions posées par Cette et *alii* (2000).
2. Pour une présentation complète du principe de cette méthode, voir Triplett (1986).

Les indices de prix hédoniques sont de plus en plus utilisés dans les comptes américains. Les composantes aujourd'hui déflatées par de tels indices représentent 18% du PIB. Par exemple, les dépenses en ordinateurs et équipements périphériques sont totalement déflatées par des indices hédoniques, ainsi que la moitié environ des dépenses de logiciels<sup>12</sup>. Pour la plupart de ces composantes, l'impact des méthodes hédoniques est limité car les méthodes d'appariement utilisées avant avaient déjà capté l'essentiel des variations de qualité. L'impact a été réellement important pour les ordinateurs et les équipements périphériques, dont les prix ont baissé à un rythme moyen de 24% par an au cours des années récentes. En 1998, selon Landefeld et Grimm (2000), les composantes pour lesquelles des indices hédoniques sont utilisés ont contribué à hauteur de - 0,2 point à la progression de 1,3% du prix du PIB. Sur ces - 0,2 point, les ordinateurs et équipements périphériques ont contribué à hauteur de - 0,4 point. Par ailleurs, selon leurs chiffres, la contribution des ordinateurs et logiciels à l'accélération de la croissance (1,4 point de pourcentage entre 1973 - 1995 et 1995 - 1999) est de 0,5 point, ce qui dans l'absolu est faible et conduit les deux auteurs à considérer que « seule une faible part de l'accélération de la croissance est due aux indices de prix hédoniques ». Pour autant, cela représente quand même un peu plus du tiers de l'accélération. Selon les deux auteurs, il n'y a pas non plus de preuves d'une surestimation de la baisse du prix des ordinateurs. Les estimations réalisées par le BEA (*Bureau of Economic Analysis*) produisent des résultats relativement robustes, comparables à ceux obtenus par la méthode traditionnelle ou dans d'autres études.

---

<sup>12</sup> Pour une présentation des pratiques américaine et française, on pourra se référer à l'article de Cette et *alii* (2000).

## Les pièges du partage volume / prix de la valeur de l'investissement

Certaines des études américaines ont non seulement cherché à localiser l'origine des gains de productivité horaire du travail, mais également à déterminer de la même manière l'ampleur et la nature de l'accélération de la PGF depuis 1995. Avant la révision des comptes nationaux américains de 1999, cette accélération était loin d'être visible. Contrairement aux études antérieures à cette révision, les études les plus récentes mettent donc en évidence non seulement cette accélération, mais aussi une accélération plus diffuse, dans le sens où elle n'est pas uniquement limitée aux secteurs producteurs, contrairement à ce que conclut Gordon (2000) (tableau 1).

### 1. Décomposition des gains de productivité globale des facteurs

Etudes	Jorgenson et Stiroh <sup>2</sup>		Oliner et Sichel		Council of Economic Advisers	
	Périodes	1995-1998	Accélération <sup>3</sup>	1996-1999	Accélération <sup>3</sup>	1995-1999
Taux de croissance annuel moyen de la PGF	0,99% (0,85%)	0,63 (0,62)	1,25%	0,69	1,04%	0,93
Contribution du secteur producteur de TIC <sup>1</sup>	0,44 (0,86)	0,19 (0,22)	0,47	0,26	0,39	0,23
Contribution des autres secteurs	0,55 (-0,01)	0,44 (0,4)	0,78	0,43	0,65	0,70

1. Pour Jorgenson et Stiroh, les TIC recouvrent les ordinateurs, les logiciels et les équipements de communications. Pour Oliner et Sichel, elles recouvrent les ordinateurs et les semi-conducteurs intégrés aux ordinateurs. Pour le *Council of Economic Advisers*, seuls les ordinateurs sont considérés.

2. Les chiffres entre parenthèses en italique correspondent à une hypothèse de baisse des prix des logiciels et des équipements de télécommunications plus rapide que celle donnée par la comptabilité nationale américaine.

3. Jorgenson et Stiroh comparent 1990-1995 à 1995-1998 ;

4. Oliner et Sichel comparent 1991-1995 à 1996-1999 ; Le *Council of Economic Advisers* compare 1973-1995 à 1995-1999.

Sources : Jorgenson et Stiroh (2000) tableau 5, Oliner et Sichel (2000) tableau 4, *Council of Economic Advisers* (2000) tableau 2-3.

S'il est certain que les gains de PGF engrangés par le secteur producteur de TIC, et leur accélération à partir des années 1980, résultent bien des évolutions technologiques sous-jacentes à la révolution informatique, il n'est néanmoins pas garanti que ceux que l'on observe dans les autres secteurs soient aussi le résultat de la diffusion des TIC. Non seulement les données empiriques sectorielles ne permettent pas de mettre en évidence un impact net des TIC sur la PGF des secteurs utilisateurs<sup>13</sup>, mais surtout les résultats obtenus, en termes de localisation des gains, sont très sensibles à la méthode retenue pour le partage volume / prix de la valeur de l'investissement.

En fait, comme le soulignent Cette *et alii* (2000), bien que l'accélération de la PGF soit concomitante d'une accélération de la diffusion des TIC, aucune relation de causalité ne peut être réellement dégagée. Dans la mesure où les comptes nationaux prennent en compte, autant que possible, les effets qualité et les performances productives des TIC, une éventuelle relation causale rend compte à la fois des effets d'externalité (progrès technique non incorporé) mais aussi des erreurs de mesures résiduelles. Le choix d'une méthode pour le partage volume / prix influence fortement la mesure de la PGF. L'exemple suivant permet d'illustrer le problème. Soit un secteur producteur S1 et un secteur utilisateur S2. En 1990, dans le secteur S1, 100 travailleurs produisent une machine de valeur 100. Dans le secteur S2,

<sup>13</sup> Voir par exemple pour plus de détails l'article de Jorgenson et Stiroh (2000).

100 travailleurs et 1 machine produisent un bien de valeur 200. En 2000, la machine, toujours produite par 100 travailleurs dans le secteur S1, permet de produire 50% de bien en plus. Au coût des facteurs, la machine vaut toujours 100 alors qu'aux services producteurs, elle vaut maintenant 200. L'impact sur la productivité est résumé dans le tableau 2.

## 2. Mesure des prix et impact sur la productivité

Secteurs	Prix mesuré aux coûts des facteurs			Prix mesuré aux services producteurs		
	S1	S2	Total	S1	S2	Total
Gains de productivité du travail	0%	50%	33%	100%	50%	67%
Gains de PGF	0%	50%	33%	100%	0%	25%

S1 : secteur producteur

S2 : secteur utilisateur

Selon la méthode aux coûts des facteurs, tous les gains de productivité sont concentrés dans le secteur utilisateur S2, alors que selon la méthode aux services producteurs, ils sont surtout dans le secteur producteur S1. En particulier le secteur S2 ne fait aucun gain de PGF. Ce secteur réalise cependant des gains de productivité du travail du fait d'une augmentation de l'intensité capitalistique, l'amélioration de la qualité de la machine étant incorporée au capital. Ce calcul, en revanche, ne prend pas en compte la possibilité que le secteur utilisateur S2 se réorganise pour mieux utiliser la machine, et donc dégage de réels gains de PGF.

Cet exercice révèle plusieurs choses. Tout d'abord, il montre que le débat n'est pas tranché quant à l'intérêt de pratiquer l'approche aux services producteurs. En effet, dès lors que la PGF est considérée comme le résidu de la fonction de production et donc comme la « mesure de notre ignorance », l'approche aux services producteurs est préférable puisqu'elle minimise ce résidu. Mais, si l'on considère la PGF comme une mesure du progrès technique non incorporé, l'approche aux coûts des facteurs conserve justement le mérite d'appréhender les gains d'efficacité induits par la meilleure utilisation des facteurs de production. Ensuite, dans la mesure où, en pratique, le partage réalisé en comptabilité nationale relève en général d'une logique aux coûts des facteurs, et, pour certains produits des TIC de la mise en œuvre de méthodes hédoniques, une interprétation correcte de la localisation des gains de PGF est en fait impossible. Tout le débat sur le processus de diffusion des TIC des secteurs producteurs vers les secteurs utilisateurs est affecté par ces problèmes de mesure. Les résultats du tableau 1 doivent donc à cet égard être interprétés avec beaucoup de circonspection. L'argument clé de Gordon selon lequel il n'y a pas de diffusion des TIC parce que les gains de PGF sont exclusivement localisés chez les secteurs producteurs doit aussi être largement relativisé. Mais d'un autre côté, les améliorations à venir des comptes nationaux américains, en développant l'utilisation des indices de prix hédoniques, tendront à renforcer statistiquement la validité de son propos. Finalement, la productivité du travail apparaît comme un meilleur indicateur de l'impact des TIC puisqu'elle capte le progrès technique incorporé.

Les calculs de Jorgenson et Stiroh (2000) illustrent plus concrètement encore ces questions. Partant de l'idée que le rythme de baisse des prix des logiciels et des équipements de télécommunications est sous-estimé dans la comptabilité nationale américaine, ils calculent de nouveaux déflateurs, et montrent ainsi que tous les gains de PGF réalisés sur la deuxième moitié des années 1990 sont issus des gains réalisés dans les secteurs producteurs (tableau 1, chiffres entre parenthèses en italique). L'amélioration de la mesure des prix élimine les gains de PGF réalisés dans les autres secteurs : il n'y aurait aucune externalité positive liée à la diffusion des TIC (on est dans le cas "Prix mesuré aux services producteurs »). En revanche,

en termes d'accélération des gains de PGF entre la première et la deuxième moitié des années 1990 (0,62 point), les contributions de chaque groupe sont similaires (0,2 point pour les secteurs producteurs et 0,4 point pour les autres secteurs). Ni le diagnostic d'une accélération partagée des gains de PGF, ni la forte accélération des gains de PGF dans les autres secteurs ne sont donc affectés par le changement de méthode d'évaluation des prix.

### La correction des effets qualité est partielle, voire partielle

Les améliorations du partage volume / prix ont concerné essentiellement les secteurs produisant des biens d'investissement en TIC mais on ne voit pas bien pourquoi il ne faudrait pas aussi améliorer les méthodes appliquées aux autres secteurs. Les justifications de cette focalisation sur les biens d'investissement en TIC sont de deux ordres : a) ce serait dans les secteurs producteurs de TIC que les changements qualitatifs des produits finaux seraient les plus rapides, c'est donc en priorité sur ces secteurs que les comptes nationaux devraient agir ; b) la question de l'impact à long terme des TIC sur la croissance ne peut être traitée sans une bonne identification des gains de PGF, ce qui exige de traiter en priorité la question du partage volume / prix pour les biens d'investissement de manière à avoir une évaluation correcte du stock de capital. Ces deux présupposés sont contestables.

Tout d'abord, la séparation entre secteurs producteurs et secteurs utilisateurs de TIC est largement arbitraire. On considère seulement comme producteurs les secteurs de fabrication de matériel informatique et de microprocesseurs. Mais les sociétés de services informatiques, les opérateurs de téléphonie mobile, les équipementiers internet et les hébergeurs de sites sont tout autant des producteurs de TIC. Le fait de ne pas les considérer comme tels n'empêche-t-il pas une mesure correcte de l'évolution de leur productivité ? Dans ces secteurs aussi, le progrès technique se manifeste pour une grande part par des améliorations qualitatives. Le fait que les indices de prix de type hédonique ne soient utilisés que pour la production d'ordinateurs, de certains logiciels, voire aux Etats-Unis pour les terminaux téléphoniques apparaît alors comme un manque sérieux.

Ensuite, il se peut très bien que l'effet des TIC soit essentiellement de favoriser des améliorations qualitatives des produits finaux plutôt que des améliorations quantitatives. Dès lors, le fait que R. Gordon trouve qu'il n'y a pas d'accélération des gains de PGF aux Etats-Unis en dehors des secteurs producteurs de TIC pourrait être un artéfact : c'est peut-être que les TIC ont beaucoup stimulé des améliorations qualitatives des autres produits alors que les comptes nationaux ne corrigent correctement les effets qualité que pour trop peu de produits en dehors des TIC. Sur ce point, les travaux récents de W. Nordhaus (2001, a & b) offrent une perspective intéressante. En suivant la suggestion de Griliches (1994), cet auteur construit des indicateurs d'évolution de la production et de la productivité des Etats-Unis pour un agrégat constitué des seuls secteurs pour lesquels le partage volume / prix est correctement effectué. Cet agrégat regroupe les secteurs suivants : agriculture, pêche et industrie forestière ; activités minières ; industrie manufacturière ; transports ; commerce de gros et de détail. Les secteurs considérés comme mal mesurés sont : la construction, la finance, les assurances, l'immobilier et les autres services. Nordhaus montre alors que les gains de productivité sont continuellement supérieurs dans les secteurs « correctement mesurés » sur toute la période 1978 – 1998. On peut alors émettre ici une hypothèse pour expliquer le paradoxe de productivité : si les problèmes de mesure des effets qualité génèrent des différences de niveau entre la productivité des secteurs « mal mesurés » et celle des secteurs « bien mesurés », cela

peut engendrer *un effet Denison*<sup>14</sup> dû au fait que la main d'œuvre a depuis de nombreuses années tendance à se déplacer de l'industrie vers les services.

Les études sur données sectorielles ne permettent pas non plus d'avoir un diagnostic définitif et consensuel quant à un lien entre les TIC et l'accélération des gains de PGF dans l'ensemble des secteurs autres que producteurs. En fait, tant que les problèmes de mesures ne seront pas levés, aussi bien les problèmes spécifiques à la mesure de la production de certains services<sup>15</sup> que ceux soulevés en termes de convention comptable<sup>16</sup>, la possibilité que l'impact statistique des TIC sur les gains de PGF n'aille pas au-delà de ceux générés par le seul secteur producteur de TIC restera envisageable.

## **ARGUMENTS POUR UNE DISCUSSION DE LA THESE DE R. GORDON**

L'analyse qui vient d'être menée nous a conduit à soulever le paradoxe de la mesure des TIC : mieux on mesure la production de TIC en volume en tenant compte des effets qualité et plus il devient délicat de décider si les éventuels gains de productivité globale sont localisés dans les secteurs producteurs ou dans les secteurs utilisateurs. Nombre d'auteurs considèrent pourtant que la double question de l'importance et de la localisation des gains de PGF est fondamentale (Artus (2001), Gordon (2000), Oliner et Sichel (2000), McGuckin & Styroh (1998)). Sur ces questions, le point de vue le plus généralement admis peut se résumer ainsi. Pour que l'on puisse affirmer que les TIC constituent une véritable révolution technologique, et donc qu'elles généreront une phase de croissance forte et durable, il faut, d'une part, que la croissance tendancielle des gains de PGF s'élève de manière significative et, d'autre part, que ces gains supplémentaires de PGF soient largement présents dans les secteurs *utilisateurs* de TIC au lieu d'être uniquement localisés dans les secteurs *producteurs*. En effet, selon les tenants de ce point de vue, il ne saurait y avoir de rupture durable du rythme de croissance fondée sur la seule accélération de la croissance de l'intensité capitaliste car cette dernière peut être très largement due à des causes temporaires (Brender et Pisani, 1999) : baisse du taux d'intérêt réel, hausse du coût du travail, modification de la préférence pour le présent des épargnants. En outre, même si les gains de PGF s'accroissent dans les secteurs producteurs de TIC, cela ne saurait être suffisant pour accélérer la croissance de l'ensemble de l'économie, puisque ces secteurs représentent une part trop faible de l'économie. Ce raisonnement s'appuie sur une représentation de la croissance inspirée du fameux modèle de R. Solow (1956) dans lequel il ne peut y avoir de croissance du produit par tête sans la présence d'un progrès technique autonome, le fameux « résidu ». En effet, dans ce modèle, la croissance de l'intensité capitaliste génère bien elle aussi de la croissance du produit par tête, mais elle est temporaire et s'arrête dès que l'économie a atteint son « état régulier ».

---

<sup>14</sup> L'effet Denison peut se définir de la manière suivante. Lorsque l'emploi se déplace continûment de secteurs à faible productivité (en niveau) vers des secteurs à forte productivité (par exemple de l'agriculture vers l'industrie), la croissance de la productivité globale de l'économie s'accélère même si les taux de croissance de la productivité dans chacun des secteurs sont les mêmes. De tels déplacements de main d'œuvre ont lieu sur longue période : cela s'est produit au cours du 20<sup>ème</sup> siècle entre l'agriculture et l'industrie et plus récemment entre l'industrie et les services, ce qui a probablement donné lieu à un effet Denison inversé.

<sup>15</sup> Dans la mesure où il apparaît une divergence croissante entre les gains de productivité du travail dans le secteur manufacturier et l'ensemble de l'économie privée, il s'agit surtout de savoir si ces problèmes de mesure se sont accrus au cours du temps à cause de la diffusion des TIC. Or, la réponse à cette question suscite encore des débats qui font l'objet d'une littérature à part entière.

<sup>16</sup> Une autre source d'arbitraire, explicitée dans Baudchon et Brossard (2001), concerne la distinction secteurs utilisateurs – secteurs non utilisateurs, distinction qui intervient dans toutes les études sectorielles.

Hormis l'exception notable de Nordhaus (2001) sur laquelle nous revenons *infra*, la plupart des études empiriques récentes montrent que les TIC ont surtout accéléré la croissance de la productivité dans quelques secteurs de pointe, producteurs plutôt qu'utilisateurs de TIC. Les gains de PGF dans ces secteurs producteurs sont essentiellement dus aux progrès des technologies de stockage et de transport de l'information dans l'informatique et les télécommunications. Mais l'accélération très nette de leur PGF ne semble pas s'être massivement diffusée aux industries utilisatrices. Comme le souligne R. Gordon (2000), une fois prise en compte la croissance de l'intensité capitaliste récemment stimulée par la baisse du prix des équipements informatiques, et après avoir retranché l'effet de l'accélération de la PGF dans les secteurs producteurs de TIC, il ne reste plus aucune accélération des gains de PGF pour les autres secteurs de l'économie américaine. C'est ce qui amène R. Gordon à affirmer avec acharnement que le « paradoxe de Solow » est encore bien vivant et que la « troisième révolution industrielle » n'a pas eu lieu.

Il nous semble cependant que cette conclusion se heurte à quatre séries de critiques. Nous en donnons la liste avant d'approfondir chacune d'entre elles.

1) L'argumentation pessimiste de Gordon s'appuie largement sur une comparaison avec les précédentes révolutions industrielles, mais il n'y a aucune raison de penser que toutes les révolutions technologiques connaissent le même processus de diffusion.

2) Il y a de fortes hétérogénéités inter-sectorielles en ce qui concerne les inputs non mesurés et les intensités capitalistes. Dès lors, les méthodes employées par les comptes nationaux ne mesurent pas correctement l'évolution du *bien-être* des consommateurs parce qu'elles génèrent un *effet Denison* sur la mesure de l'évolution de la productivité agrégée (Nordhaus, 2001).

3) Les sources de croissance de la productivité sont multiples et beaucoup d'entre elles ne peuvent pas être correctement décelées par la méthode consistant à séparer la part des gains de productivité du travail qui est due à l'accumulation de facteurs de celle qui est due à un progrès technique autonome. Deux exemples nous semblent typiques :

- Quelles que soient les méthodes de partage volume / prix, le progrès technique dû à l'amélioration de l'efficacité du travail est toujours sous-estimé parce qu'il s'accompagne d'une augmentation de l'intensité capitaliste dont il est en fait la cause.

- Quelles que soient les méthodes de partage volume / prix, la présence de rendements non décroissants est mal mesurée. Or il y a de bonnes raisons de penser que les rendements de certains produits des TIC sont non décroissants. Dans ce cas, il faut envisager la poursuite de l'accélération de la croissance, même si l'on a l'impression qu'elle provient d'une accélération de l'évolution de l'intensité capitaliste. Par exemple, les gains de productivité générés par des innovations de produits ont de fortes chances d'être assimilés à des gains produits par la substitution capital/travail, alors qu'ils dépendent avant tout de l'efficacité de la R&D.

4) Un secteur dont la part dans l'économie est relativement faible, comme c'est le cas pour le secteur des biens d'équipement, peut très bien entraîner le reste de l'économie si les biens d'investissement qu'il fournit sont de moins en moins chers.

Analysons maintenant dans le détail chacun de ces arguments.

### **1) Le schéma de diffusion peut différer d'une révolution industrielle à l'autre**

Gordon(2000) insiste sur le fait que les critères donnés par P. David (1990) pour identifier les révolutions industrielles ne sont pas satisfaits par les TIC. David a en effet montré que, dans le cas de la diffusion de l'énergie électrique aux Etats-Unis, le trend de croissance de la PGF n'a pas connu de rupture favorable « *avant que plus de la moitié des machines utilisées dans les usines ne soient électrifiées.* » Or selon Gordon, ce seuil de diffusion est largement dépassé en ce qui concerne le capital informatique dans nombres de secteurs utilisateurs (commerce, immobilier, finance, par exemple) qui, pourtant, ne bénéficient pas d'une rupture du trend de leur PGF. Cependant, on ne peut transposer les régularités décelées par P. David sans plus de précautions. Toutes les révolutions technologiques ne connaissent pas nécessairement les mêmes étapes, les mêmes seuils critiques de diffusion, les mêmes problèmes d'apprentissage. L'effet de réseau explique une grande part des gains de productivité générés par l'Internet et les télécommunications. C'est pourquoi ces gains pourraient bien commencer à se faire sentir plus tardivement qu'à l'accoutumé, puisqu'il faut des taux d'équipement importants pour que les externalités de réseau jouent pleinement.

### **2) L'effet Denison dû aux inputs non mesurés et à l'hétérogénéité des intensités capitalistiques**

Les différences de niveau entre la productivité des différents secteurs ne sont pas seulement des artifices dus à la correction des effets qualité. Il existe notamment deux sources naturelles d'écart entre les productivités en niveau. La première réside dans le fait que le capital humain constitue un input très important, et fort mal mesuré, dans de nombreux secteurs. Ceux-ci bénéficient alors d'une productivité mesurée plus élevée. La seconde source d'écart réside dans le fait que certaines industries ont naturellement une intensité capitaliste nettement plus élevée que les autres, ce qui leur donne un niveau de productivité du travail plus élevée sans que l'on puisse en déduire pour autant que ces industries contribuent plus fortement à la croissance du bien être des consommateurs.

L'effet Denison joue alors un rôle très important dans les économies où les secteurs productifs sont diversifiés. Nordhaus (2001) montre que cela crée une nette sous-estimation de la croissance de la productivité agrégée dans les mesures habituelles et propose une mesure corrigée de cet effet : il obtient alors une décomposition de l'accélération de la productivité du travail dans laquelle la contribution de la PGF des secteurs hors «nouvelle économie » est tout à fait significative. Selon cette méthodologie, l'accélération de la croissance de la productivité du travail du secteur marchand aux Etats-Unis entre 1996 et 1998 serait de 1,8 points. Une fois retranchées les contributions de l'intensité capitaliste et de la PGF des secteurs de la nouvelle économie, Nordhaus trouve qu'il reste une contribution de 0,65 point pour l'accélération de la PGF des autres secteurs.

### **3) Les erreurs sur l'origine des gains de productivité ne viennent pas que de problèmes de mesure**

L'essentiel des gains de productivité du travail réalisé dans la deuxième partie des années 1990 aux Etats-Unis est souvent attribué à la PGF des secteurs producteurs d'informatique et à l'accumulation de capital informatique dans les autres secteurs. D'autres facteurs, tels que l'amélioration du niveau de qualification ou les changements organisationnels destinés à intensifier les rythme de travail, ont joué un rôle très important dans plusieurs pays. Les approches aux services producteurs, dont on a vu plus haut les limites, ne sont que partiellement responsables de cette interprétation fallacieuse. En effet,

comme le rappelle l'encadré 2, même une évaluation au coût des facteurs peut conduire à attribuer un progrès autonome de l'efficacité du travail à une élévation de l'intensité capitaliste. Ceci provient du fait que, lorsque la croissance provient d'un progrès autonome de l'efficacité du travail, c'est elle qui génère l'élévation de l'intensité capitaliste et non pas l'inverse. On risque alors de conclure que l'on n'est pas en présence d'une « véritable révolution technologique » parce que l'accumulation de capital explique une bonne part de la croissance, alors que toute l'origine de la croissance est due à des innovations améliorant l'efficacité du travail. Comme on le voit dans l'encadré 2, l'approche aux services producteurs aggrave ce genre d'erreurs d'interprétation mais le retour à une approche aux coûts des facteurs ne constitue nullement une solution. L'intensification du travail a été un phénomène important aux Etats-Unis dans les années 1990 (Askenazy, 2000). Dès lors, il n'est pas du tout incohérent de s'interroger sur une éventuelle surestimation de la contribution à la croissance de l'intensité capitaliste. Ce questionnement nous semble d'autant plus pertinent que nombres d'études économétriques en coupe montrent que les gains de productivité liés aux TIC ne sont obtenus que lorsque les firmes modifient conjointement leur organisation du travail (Askenazy (2000), Brynjolfsson & Hitt (1996), Baudchon & Brossard (2001)).

Une erreur d'interprétation similaire pourrait provenir du fait que la substitution capital/travail a été stimulée par les innovations de produit apparues au cours de la diffusion des TIC. L'accumulation de capital ne consiste pas nécessairement à accroître le volume de chaque bien d'investissement déjà utilisé, mais peut aussi consister à élargir la gamme des biens d'investissement employés par l'entreprise. Par exemple, l'utilisation d'un ordinateur connecté à l'Internet permet aujourd'hui de transférer des textes sans l'usage d'aucun support matériel. Cela permet d'économiser du papier, de l'encre et du temps, chaque fois que la diffusion d'un texte ne requiert pas de support papier. Les anciens biens intermédiaires (photocopieuses, fax, enveloppes, véhicules de transport, etc.) ne sont plus utilisés que lorsqu'il est nécessaire de transmettre une copie papier. Il y a donc accroissement de l'efficacité productive grâce à l'augmentation du nombre de biens intermédiaires disponibles et à la plus grande spécialisation de chacun d'entre eux. L'encadré 2 rappelle la formalisation de base des modèles à innovation de produit. On y voit que, si l'on peut admettre que la fonction de production de l'économie est à variétés de biens intermédiaires, l'accroissement de l'intensité capitaliste n'est pas nécessairement limité par des rendements décroissants. Cela provient du fait que les entreprises ont intérêt à élargir la gamme des biens d'investissement qu'elles utilisent. Si le processus actuel de diffusion des TIC correspond à ce schéma, le résidu ne doit pas être interprété comme l'expression de notre ignorance, mais comme la marque de la contribution des innovations incrémentales à la croissance. Une approche aux services producteurs, en éliminant ce résidu, conduirait ici à sous-estimer le rôle moteur des innovations. Cependant, là encore, même l'approche aux coûts des facteurs conduit à se tromper sur l'origine de la croissance, puisqu'au moins une contribution  $\alpha k$  sera attribuée à l'accroissement de l'intensité capitaliste. Ce phénomène risque alors d'être considéré comme temporaire alors qu'il n'est pas soumis à la loi des rendements décroissants tant qu'il provient de l'élargissement de la gamme des biens intermédiaires.

## Encadré 2 : Diversité des formes du progrès technique et problèmes d'interprétation des équations de productivité

### A) Le cas du progrès technique améliorant l'efficacité du travail

Dans le cas d'un progrès technique « neutre au sens de Harrod », la fonction de production peut s'écrire :

$$Y = K^\alpha (L e^{xt})^{1-\alpha}$$

$Y$  est la production,  $K$  le capital,  $L$  le travail,  $x$  le taux de croissance de l'efficacité du travail. La croissance de la productivité du travail peut alors s'écrire :

$$\hat{y} = \alpha \hat{k} + (1-\alpha)x$$

On peut montrer que l'état régulier (croissance à taux constant des variables par tête) implique  $\hat{y} = x$  et  $\hat{k} = x$ . Même si l'on mesure le capital aux coûts des facteurs, on attribue seulement une part  $(1-\alpha)$  de la croissance à la croissance de la PGF (dont l'origine est ici une augmentation de l'efficacité du travail) alors que, comme le soulignent Barro & Sala-i-Martin (1995), aucune croissance ne se serait produite sans elle. *A fortiori*, si l'on mesure le capital aux services producteurs, le résidu disparaît entièrement et l'on attribue toute la croissance à l'accroissement de l'intensité capitaliste (dont la mesure apparente sera maintenant  $\hat{k} + x$ ).

### B) Variétés de biens intermédiaires et rendements non décroissants du capital

La littérature sur la croissance endogène s'est beaucoup appuyée sur l'existence d'externalités positives liées à l'accumulation des connaissances pour montrer que le rendement agrégé du capital n'est pas nécessairement décroissant (Romer (1986)). Plus récemment, les modèles d'innovation de produit se sont servis de nouvelles fonctions de production capables de rendre compte de l'impact des innovations élargissant la gamme des biens utilisés dans le processus de production. Ces fonctions de production à variétés de biens intermédiaires ont notamment été utilisées par Romer (1987) :

La production d'une firme  $i$  s'écrit :

$$(1) \quad Y_i = (L_i)^{1-\alpha} \cdot \int_0^N [X_i(j)]^\alpha dj$$

où  $0 < \alpha < 1$ ,  $Y_i$  est la production,  $L_i$  le travail et  $X_i(j)$  la quantité de bien intermédiaire  $j$  utilisée par la firme  $i$ ,  $N$  le nombre de biens intermédiaires utilisés par chaque firme. A l'équilibre symétrique où  $X_i(j) = X_i$ , on a :

$$(2) \quad Y_i = L_i^{1-\alpha} \cdot N X_i^\alpha = L_i^{1-\alpha} \cdot (N X_i)^\alpha \cdot N^{1-\alpha}$$

Le rendement du capital n'est pas décroissant si l'augmentation de  $N X_i$  vient de l'augmentation de  $N$ . Il est possible de considérer les  $X_i(j)$  comme des biens intermédiaires non durables (consommations intermédiaires) ou comme des biens intermédiaires durables (capital).

Dans ce type de modèles, la croissance provient de l'invention de nouveaux biens intermédiaires (innovations incrémentales). La façon la plus simple d'envisager le problème des innovations est de considérer qu'un effort déterminé de R&D conduit avec certitude à l'invention d'un nouveau produit. On peut alors montrer que le taux de croissance du nombre de biens intermédiaires est constant ( $\hat{N} = \gamma$ ) lorsque la taille de la population et le coût de la R&D sont donnés. Pour l'économie dans son ensemble, la productivité du travail s'écrit alors :

$$y = \left( \frac{N \cdot X}{L} \right)^\alpha \cdot N^{1-\alpha}$$

Si l'on considère les biens intermédiaires comme des biens durables, NX/L est l'intensité capitaliste notée habituellement  $k$ . En taux de croissance, on a :

$$\hat{y} = \alpha \hat{k} + (1 - \alpha) \hat{N}$$

avec  $\hat{k} = \hat{N} = \hat{y} = \gamma$ .

Là encore, croissance de la PGF et croissance de l'intensité capitaliste sont difficiles à séparer. La croissance de la PGF provient ici de l'augmentation du nombre de biens intermédiaires, et c'est elle qui est à l'origine de la croissance entretenue. Même si l'intensité capitaliste  $y$  contribue pour une part  $\alpha$ , la croissance n'est pas transitoire parce que l'accroissement de l'intensité capitaliste provient de l'augmentation du nombre de biens intermédiaires, augmentation dont le rythme dépend seulement du coût et de la productivité de la R&D. Une baisse du coût d'usage du capital n'est pas nécessaire pour prolonger le processus.

#### 4) Localisation des gains de PGF et croissance durable : un faux débat

Contrairement à ce qui est fait habituellement, Greenwood et Jovanovic (1998) proposent une décomposition de la croissance américaine basée sur un modèle, inspiré de Solow (1960), dans lequel le progrès technique est incorporé au capital sous la forme d'une baisse continue du prix des biens d'investissement. Dans ce modèle, un secteur produit les biens d'investissement et bénéficie d'un progrès technique autonome spécifique ; un autre secteur produit les biens finaux à l'aide de ces biens d'investissement et de travail, et il bénéficie de l'habituel « progrès technique neutre au sens de Solow ». Il est alors possible de montrer que la croissance peut tout à fait être durable même si les gains de PGF proviennent essentiellement de secteurs produisant des biens d'équipement (encadré 3).

##### Encadré 3 : Décomposition de la croissance dans un modèle bi-sectoriel avec « externalité pécuniaire » (Solow (1960), Greenwood et Jovanovic (1998))

Supposons, à l'instar de Solow (1960), que l'économie soit composée d'un secteur produisant les biens d'équipement et d'un secteur produisant les biens finaux.

Le produit final est fabriqué avec la technologie suivante :

$$(1) \quad y = z k_e^a l^{1-a}$$

$z$  représente la PGF du secteur des biens finaux,  $k_e$  le stock de biens d'équipement et  $l$  le travail. Le coefficient  $z$  croît au taux  $g_z$  (progrès technique « neutre au sens de Solow »). Le stock de biens d'équipement évolue selon l'équation :

$$(2) \quad \dot{k}_e = i q - d k_e$$

où  $i$  représente l'investissement (nombre d'unités du bien final consacrées à la fabrication de capital),  $d$  le taux de dépréciation physique du capital et  $q$  le progrès technologique « spécifique à l'investissement » (ou encore « incorporé au capital nouveau »).  $q$  croît au taux  $g_q$  qui représente le progrès technique du secteur des biens d'équipement. Le prix relatif du capital est alors  $p = l/q$  et il décroît au taux  $g_q$ .

La contrainte de ressources de l'économie s'écrit :

$$(3) \quad c + i = y$$

où  $c$  est la consommation de biens finaux et  $i$  le nombre d'unités de bien final consacrées à l'investissement.

Il est alors aisé de démontrer que la croissance d'état régulier vérifie :

$$(4) \quad g_y = \left( \frac{1}{1-a} \right) g_z + \left( \frac{a}{1-a} \right) g_q$$

Les calculs sur données américaines effectués par Greenwood et Jovanovic (1998) donnent alors une contribution de 35% pour le progrès technique neutre au sens de Solow ( $g_z$ )

et une contribution de 65% pour le progrès technique spécifique aux biens d'investissement ( $g_q$ ).

Greenwood et Jovanovic démontrent ainsi que la PGF du secteur des biens d'équipement explique 65% de la croissance d'après guerre aux Etats-Unis, tandis que la PGF du secteur des biens finaux n'en explique que 35%. Autrement dit, pendant plus de 40 ans (1948 – 1992), le progrès technique du secteur des biens d'équipement aurait été la source principale de la croissance américaine alors même que ce secteur ne représente que 17% du PIB en moyenne sur la période (en termes de rémunération). Ce constat contredit l'argument de Gordon (2000) selon lequel une accélération du progrès technique ayant lieu dans un secteur ne représentant qu'une faible part de l'économie -comme c'est le cas pour celui des biens durables- ne saurait être la source d'une croissance plus forte dans l'ensemble de l'économie. Solow (1960) l'avait déjà souligné : la substitution capital/travail peut être un moteur durable de la croissance s'il existe un progrès technique persistant dans le secteur de production des biens d'investissement. Comme on peut le voir dans l'encadré 3, lorsque la fonction de production des biens finaux est à rendements décroissants du capital, cela peut être compensé par une baisse constante du prix des biens d'investissement au taux  $g_q$ . Le fait que la croissance actuelle soit stimulée par une accumulation de capital accélérée du fait de la baisse du prix des équipements informatique n'est donc pas nécessairement inquiétant en soi. La poursuite de cette accélération dépend en grande partie de la poursuite de la loi de Moore qui devrait s'appliquer encore une bonne dizaine d'années. Et même si le progrès technique spécifique à l'équipement informatique finit par s'épuiser, il est bien trop tôt pour affirmer que d'autres sortes de bien d'équipement ne prendront pas le relais.

## Conclusion

La réalité empirique sur laquelle s'appuie le débat sur la nouvelle économie est pleine d'ambiguïtés. Nous avons montré qu'il y avait à cela deux sortes de raison : d'une part la mesure est imparfaite, d'autre part l'interprétation de la mesure est sujette à caution. Malgré les progrès des méthodes de partage volume / prix, la mesure de la « nouvelle économie » reste imparfaite parce que les effets qualité brouillent la localisation des gains de PGF et parce que l'effet Denison n'est pas corrigé par les indices utilisés habituellement par les comptes nationaux. L'interprétation de la mesure souffre quant à elle d'au moins trois sortes d'imperfections. Tout d'abord, on a tendance à considérer que les TIC ne constitueront une véritable révolution technologique que si les gains de PGF qu'ils génèrent se diffusent d'une manière similaire à ce qui s'était passé dans le cas des précédentes révolutions technologiques. Rien ne justifie véritablement une telle supposition. D'autre part, on tend probablement à surestimer le rôle moteur de l'accumulation de capital à cause du biais d'endogénéité : en présence de rendements non décroissants du capital, ou d'un progrès technique améliorant l'efficacité du travail, c'est la « croissance » qui génère l'accumulation de capital et non l'inverse. On ne peut pas considérer alors que l'accélération de l'accumulation de capital est l'unique moteur de l'accélération de la croissance de la productivité du travail, même si c'est ce que la comptabilité de la croissance fait apparaître. Lorsque le capital s'accumule plus rapidement à cause de l'apparition de rendements croissants ou de progrès dans l'organisation du travail, il n'y a pas de raison mécanique que cela soit temporaire. De même, lorsqu'un progrès technique se produit dans le secteur des biens d'équipement, cela entraîne une baisse du prix relatif des biens capitaux et donc une élévation du coefficient de capital en volume (et non en valeur). Comme les rendements décroissants du capital jouent sur la valeur du stock de capital plutôt que sur son volume, rien n'indique qu'un tel processus doivent nécessairement prendre fin. Au contraire, nous avons

rappelé qu'il semble même avoir été le moteur principal de la croissance américaine depuis des décennies.

En fin de compte, nous avons montré que les gains de PGF en dehors des secteurs producteurs de TIC était probablement sous évalués, mais même si cela n'était pas le cas, on pourrait tout à fait considérer qu'une accélération des gains de PGF restreinte au secteur des biens d'équipement justifie que l'on parle de « troisième révolution industrielle ».

## BIBLIOGRAPHIE

- ASKENAZY Ph., 2000 : « The consequences of new workplaces practices in the United States : the neo-stakhanovism », *mimeo*, Cepremap.
- ARTUS P., 2001, *La nouvelle économie*, Repères, La découverte.
- BAILY Martin Neil et Robert Z.Lawrence, 2001, « Do we have a new e-conomy ? » ; NBER working paper n°8243, avril.
- BARRO R. J. et X. SALA-I-MARTIN, 1996 : *La croissance économique*, traduction française, Mc Graw Hill/Ediscience International.
- BAUDCHON Hélène et Olivier BROSSARD, 2001, « Croissance et technologies de l'information en France et aux Etats-Unis », Revue de l'OFCE n°76, janvier.
- BRENDER A. et F. PISANI, 1999 : *Le nouvel âge de l'économie américaine*, Economica.
- BRYNJOLFSSON E. et L. HITT, 1996 : « Paradox lost ? Firm-level evidence on the returns to information systems spending », *Management Science*, vol. 42, avril.
- CETTE Gilbert, Jacques MAIRESSE, et Yussuf KOCOGLU, 2000, "Les technologies de l'information et de la communication en France : diffusion et contribution à la croissance", *Economie et Statistique*, numéro spécial n°339-340, septembre-octobre.
- CONSEIL D'ANALYSE ÉCONOMIQUE (sous la direction de D. COHEN et de M. DEBONNEUIL), 2000 : *Nouvelle économie*, rapport 28, juin.
- COUNCIL OF ECONOMIC ADVISERS, 2000 : *Economic Report of the President*, février.
- DAVID P. A., 1990 : « The dynamo and the computer : an historical perspective on the modern productivity paradox », *American Economic Review*, n° 80, mai.
- GORDON Robert J., 2000, "Does the 'new economy' measure up to the great inventions of the past ?", *Journal of Economic Perspectives*, vol.14, n°4, automne.
- GREWOOD J. et B. JOVANOVIC, 1998 : « Accounting for growth », *NBER Working Papers*, n° 6647.
- GRILICHES Z., 1994, « Productivity, R&D, and the Data Constraint », *American Economic Review*, vol. 84, n°1, March, p. 10.
- HALTIWANGER John et Ron S. JARMIN, « Measuring the digital economy », paper prepared for the Conference « Understanding the digital economy : date, tools and research » held at the US Department of Commerce, Washington, 25-26 mai 1999.
- JORGENSEN Dale W. et Kevin J. STIROH , 2000, "Raising the speed limit : US economic growth in the information age", *Brookings Papers on Economic Activity*, n°1.
- LANDEFELD Steven J. et Barbara M.FRAUMENI, 2001, « Measuring the New Economy », *Survey of Current Business*, mars.
- LANDEFELD Steven J. et Bruce T.GRIMM, 2000, « A note on the impact of hedonics and computers on real GDP », *Survey of Current Business*, décembre.
- LEQUILLER François, 2001, « La nouvelle économie et la mesure de la croissance du PIB », document de travail de la direction des Etudes et Synthèses Economiques de l'INSEE, n°G 2001 / 01, février.
- MCGUCKIN R. H. et K. J. STIROH, 1998 : « Computers, productivity and growth », *Economic Research Report*, The Conference Board, avril.
- NORDHAUS W., 2001, « Alternative Methods for Mesuring Productivity Growth »,

*NBER\_WP*, 8095, January.

NORDHAUS W., 2001, «New Data and Output Concepts for Understanding Productivity Trends », *NBER\_WP*, 8097, January.

NORDHAUS W. D., 2001, «Productivity growth and the new economy », NBER Working Paper n°8096, janvier.

OLINER Stephen D. et Daniel E.SICHEL, 2000, "The resurgence of growth in the late 1990s : is information technology the story ?", *Journal of Economic Perspectives*, vol. 14, n°4, automne.

ROMER P., 1986 : «Increasing returns and long run growth», *Journal of Political Economy*, 94(5), octobre.

ROMER P., 1987 : «Growth based on increasing returns due to specialization», *American Economic Review*, vol. 77, n° 2, mai.

SESKIN Eugene P., 1999, «Improved estimates of the National Income and Product Accounts for 1959-98 : results of the comprehensive revision », *Survey of Current Business*, décembre.

SOLOW R., 1960, «Investment and Technological Progress », In K. Arrow, S. Karlin and P. Suppes, eds. *Mathematical Methods in the Social Sciences 1959*. Stanford, CA :Stanford University Press, 1960.

STIROH Kevin J., 2001, « Investing in information technology : productivity payoffs for US industries », *Current Issues in Economics and Finance*, FRBNY, volume 7 n°6, juin.

TRIPLETT Jack E., 1986, «The economic interpration of hedonic methods », *Survey of Current Business*, janvier.