

Croissance et technologies de l'information en France et aux États-Unis

Hélène Baudchon et Olivier Brossard

Département analyse et prévision de l'OFCE

L'usage des TIC (Technologies de l'Information et de la Communication) tend à se généraliser à un rythme et sur une échelle qui rappellent de précédentes révolutions technologiques. Il est dès lors assez tentant de considérer que la croissance vigoureuse des États-Unis provient essentiellement de la diffusion des TIC, ce qui a donné naissance au concept de « nouvelle économie ». Il y a de bons arguments théoriques à l'appui de la thèse selon laquelle une véritable révolution technologique serait à l'œuvre, notamment grâce aux résultats donnés par les modèles d'innovations génériques (General Purpose Technologies). Ils permettent de mieux comprendre pourquoi il y a une période critique au cours de laquelle l'apparition d'une innovation est coûteuse en termes de croissance, éventuellement suivie d'une phase d'accélération, lorsque suffisamment de firmes utilisent les nouveaux équipements et lorsque l'apprentissage de la nouvelle technologie est terminé. Les États-Unis pourraient avoir dépassé cette période critique, alors que la France, typiquement, y serait encore.

Les éléments empiriques susceptibles de soutenir ce point de vue, bien qu'encore fragiles, ont rapidement évolué. En quelques années, le discours, d'abord sceptique du fait du manque de recul statistique, est devenu plus optimiste en s'appuyant sur les données empiriques les plus récentes. La rupture du trend de croissance de la productivité du travail ainsi que de la productivité globale des facteurs depuis 1995 aux États-Unis semble nette, et la contribution des TIC à ces évolutions est significative. L'existence d'un processus de diffusion des TIC des secteurs producteurs vers les secteurs utilisateurs permet d'envisager que des pays non producteurs de ces technologies puissent, à l'image des États-Unis, s'engager dans un cercle vertueux de croissance. Le fait de ne détecter, à ce jour, en France aucun impact favorable des TIC sur l'évolution de la productivité au niveau agrégé ne doit néanmoins pas être considéré comme une preuve de l'absence d'effets des TIC. La mauvaise conjoncture des années 1990, un certain retard technologique et le fait que la diffusion des TIC ne concerne encore qu'un nombre limité d'entreprises sont autant d'explications. Nos estimations menées sur données sectorielles désagrégées montrent qu'un impact important des TIC sur la productivité existe indépendamment de l'organisation des responsabilités au sein de l'entreprise, mais qu'il est néanmoins plus fort lorsque certaines formes d'organisation sont adoptées. L'ampleur du « paradoxe français de la productivité » pourrait donc bien finir par s'estomper.

L'usage des Technologies de l'Information et de la Communication ¹ tend à se généraliser à un rythme et sur une échelle qui rappellent de précédentes révolutions technologiques (la diffusion des moteurs à vapeur et à explosion, l'utilisation de l'énergie électrique). Il est dès lors assez tentant de considérer que la vigoureuse croissance des États-Unis provient essentiellement de la diffusion des TIC. Cependant, les débats récents ne sont pas parvenus à dégager un consensus sur ce qu'est véritablement la « nouvelle économie ». Il y a en effet dans la plupart des analyses actuelles une confusion entre trois types de problèmes : 1) le problème de la réalité de l'impact des TIC sur la productivité et de la preuve de l'existence d'une véritable révolution technologique ; 2) le problème de l'identification des causes du renouveau économique des États-Unis dans les années 1990 ; 3) la question des modifications récentes du fonctionnement du capitalisme.

La présente étude se concentre sur le premier problème car nous nous interrogeons essentiellement sur le rôle des TIC. Les deux autres questions font intervenir un ensemble beaucoup plus large de modifications des structures économiques, qu'il s'agisse des transformations du marché du travail, de la libéralisation financière ou encore de la mondialisation des échanges. Les TIC ne sauraient expliquer à elles seules tous ces bouleversements, mais, s'il est possible de démontrer qu'une véritable révolution technologique est à l'œuvre, il devient pertinent de s'interroger sur la « nouvelle économie » en étudiant les modifications du fonctionnement de l'économie qui sont directement liées à l'apparition et au développement des TIC.

Il y a de bons arguments théoriques à l'appui de la thèse selon laquelle une véritable révolution technologique serait à l'œuvre. En effet, les théoriciens de la croissance endogène ont récemment construit des modèles permettant de mieux comprendre pourquoi la diffusion d'un nouveau paradigme technologique ² peut générer des cycles économiques : les modèles d'innovation générique (*General Purpose Technologies*). Ces travaux montrent qu'un ralentissement initial de la croissance peut, dans certains cas, constituer une preuve de la profondeur du changement technique en cours, parce qu'il témoigne de l'apparition

1. TIC dans la suite. Par facilité d'expression, ce sigle recouvrira, de manière certes un peu abusive, aussi bien une définition limitée aux seuls ordinateurs qu'une version plus large comprenant les semi-conducteurs, les logiciels, les équipements de télécommunication, mais aussi l'internet et le commerce électronique.

2. La notion de paradigme technologique a été développée par Dosi (1982). Elle s'inspire de la notion de paradigme scientifique proposée par Th. Kuhn. Amable, Barré et Boyer (1997) en donnent une définition très claire : « *Le paradigme représente le mode de résolution de certains problèmes technico-économiques à partir des principes dérivés de l'activité scientifique. Il comprend un certain nombre de méthodes et d'outils [développés dans le cadre de] la « technologie générique » qui est à l'origine du paradigme et constitue l'équivalent de l'innovation radicale au sens de Schumpeter [...]. Le paradigme technologique définit les limites dans lesquelles s'exercera le progrès technique, le type de problèmes qui se poseront et le type de solutions qui seront possibles à partir des avancées scientifiques réalisées autour de la technologie générique* ».

d'une innovation *générique*. Une innovation est qualifiée de *générique* si elle donne lieu à un bouleversement général des manières de produire et de consommer, et si ce bouleversement se produit grâce à une succession d'innovations secondaires destinées à exploiter les opportunités offertes par l'innovation originelle. La faiblesse initiale des gains de croissance peut alors faire croire à un « paradoxe de productivité » au sens de R. Solow, alors qu'elle traduit simplement les coûts transitoires de la réallocation des facteurs de production entre l'« ancienne » et la « nouvelle » économie.

Les éléments empiriques susceptibles de venir soutenir ce point de vue restent cependant encore assez fragiles. S'il ne fait plus guère de doute aujourd'hui qu'il y a bien eu une rupture du *trend* de croissance de la productivité du travail ainsi que de la productivité globale des facteurs depuis 1995 aux États-Unis, la part de ces gains expliquée par la diffusion des TIC ne fait pas l'objet d'un consensus. En outre, ce constat est loin d'être généralisable à tous les pays. Dans le cas de la France par exemple, aucune étude sur données agrégées n'a réussi à ce jour à mettre en évidence un tel phénomène. Quelques études sur données sectorielles ou individuelles parviennent bien à mettre en évidence un impact favorable des TIC sur la productivité globale, mais elles restent peu nombreuses et assez fragiles dans leurs spécifications.

Dès lors, le débat sur la « troisième révolution industrielle » gagnerait à répondre aux nombreuses questions qui se posent encore, aussi bien dans le cas de la France que pour les États-Unis : dans quelle fourchette se situe l'impact des TIC sur la productivité globale des facteurs ? Quelle est la vraie contribution des TIC à la croissance ? Y a-t-il des éléments empiriques suggérant que la France commencerait à tirer quelques bénéfices de la diffusion des TIC ? L'impact favorable des TIC n'est-il pas limité, aussi bien en France qu'aux États-Unis, aux secteurs d'activités « producteurs » de TIC, comme l'affirme R. J. Gordon ? Pourquoi commence-t-on tout juste à percevoir les bienfaits d'une révolution technologique entamée dans les années 1960 ?

Pour répondre à ces questions, nous proposons dans un premier temps quelques éléments de clarification sur le concept de « nouvelle économie », en tentant de répondre à deux questions : quelle est la bonne définition du phénomène ? Quelle est son ampleur ? Ces précisions sont faites d'abord sur un plan pragmatique puis sur un plan théorique. La prudence qui ressort de cette première partie est volontaire et met en évidence la difficulté à bien cerner les phénomènes en cours. Elle résulte également de la rapide évolution de la littérature d'un discours plutôt sceptique manquant de recul statistique vers un discours plus optimiste s'appuyant sur les données empiriques les plus récentes. La deuxième partie de notre article, consacrée aux aspects empiriques, rend compte de ce changement, et est de ce fait assez optimiste. Une comparaison des processus de diffusion des TIC en France et aux États-Unis y est faite,

en évaluant l'impact des TIC sur les gains de productivité. Nous rappelons pour cela les résultats de certaines études concernant les États-Unis, et nous effectuons ensuite une étude économétrique de l'impact des TIC sur la productivité de 51 secteurs de l'industrie française, de manière à évaluer la part qui revient aux TIC et celle qui revient à d'autres facteurs relatifs à l'organisation du travail.

« Nouvelle économie » : les explications concurrentes

Quelques clarifications

Il s'agit de préciser la situation macroéconomique dans laquelle le terme de « nouvelle économie » est né. Même si les caractéristiques de cet environnement sont assez bien répertoriées, le concept de « nouvelle économie » ne repose pas sur une définition unique. Nous tenterons d'en préciser les contours. Nous nous interrogerons ensuite sur l'emploi du terme de troisième révolution industrielle pour décrire les évolutions technologiques actuelles.

Environnement macroéconomique

En 2000, l'économie américaine connaît quatre succès : un faible chômage, une inflation maîtrisée, des gains de productivité en accélération et un solde public en excédent. Ces performances, qui s'inscrivent dans la durée, sont à la fois source et conséquence d'un cycle qualifié à l'origine de « boucle d'or » (*Goldilocks*). En mars 2000, l'économie américaine entrait dans sa dixième année de croissance. En février 2000, le cycle actuel dépassait le record de longévité du cycle des années 1960, soit 106 mois de croissance ininterrompue. En moyenne sur la période 1992-1999, le taux de croissance a été de 3,6 % par an. Le taux de chômage est depuis trois ans et demi en deçà du niveau du NAIRU (estimé à 5,2 % depuis 1996 par le *Congressional Budget Office*) et l'inflation reste toujours contenue. L'investissement productif en volume a crû en moyenne d'environ 9 % par an depuis le début du cycle, tiré par une progression moyenne de 18,2 % par an de l'investissement en TIC. Entre 1992 et 1999, les gains de productivité horaire du travail dans le secteur marchand ont été de 2,2 % par an et de 4,3 % dans le secteur manufacturier. Ils sont donc largement supérieurs à la tendance de long terme (1974-1999) de 1,7 % par an dans le secteur marchand et de 3 % dans le secteur manufacturier. La causalité qui se dégage naturellement de ces événements va du dynamisme de l'investissement productif vers les gains de productivité et vers une boucle prix-salaires maîtrisée. C'est

leur ampleur et leur durabilité qui a suscité l'émergence du terme de « nouvelle économie ». En effet, la 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 (tableau 1).

1. Comparaison des deux dernières années de croissance de chaque cycle américain

Taux de croissance annuel moyen, en %	Deux dernières années des cycles précédents		Deux dernières années du cycle le plus récent
	1967/T4-1969/T4	1988/T3-1990/T3	1998/T3-2000/T3
PIB	3,4	2,6	4,6
Taux de chômage ¹	3,5	5,4	4,4
Productivité ²	1,1	1,0	3,7
Investissement productif	6,4	3,2	13,8
Salaire horaire nominal	6,6	3,9	3,6
Indices des prix à la consommation (CPI)	5,1	5,1	2,8
Accélération CPI ³	2,4	1,9	0,3

1. Moyenne annuelle pour 1968-1969, 1988/T4 - 1990/T3, et 1998-1999.

2. Productivité horaire du travail dans le secteur non agricole.

3. Différence en points entre le taux d'inflation annuel moyen des deux dernières années et ce même taux sur les deux années précédentes.

Sources : BEA, BLS, calculs OFCE.

Les calculs de contribution des TIC à la croissance donnent une fourchette assez large d'estimations, résultant essentiellement des différences de méthodes et dans une moindre mesure des différences de champ et de période couverts. Toute comparaison de ces chiffres doit donc être faite avec prudence. La méthode la plus directe, et la plus simple sur le plan empirique, évalue la part de croissance expliquée par la croissance du secteur des TIC. Le Département du commerce américain (2000) estime ainsi que les TIC expliquent, en moyenne sur 1995-1999, 1,3 point de croissance par an. L'INSEE (2000) estime à 0,4 point de PIB le supplément de croissance apporté par les TIC à la croissance française en 1998. Une seconde méthode, plus élaborée, est celle de la comptabilité de la croissance de Denison (1985) ³. Selon cette

3. Ces méthodes présentent toutes deux l'inconvénient de négliger les effets d'éviction ou d'entraînement en se focalisant sur les sources directes de la croissance (accumulation du travail et du capital et productivité globale des facteurs). Elles ne rendent pas compte des progrès technologiques sous-jacents à l'accumulation du capital. De plus, mais cela ne concerne que la méthode de la comptabilité de la croissance, celle-ci ne permet pas d'avoir une explication satisfaisante du ralentissement de la croissance au cours des années 1970 : celui-ci est attribué à une décélération mystérieuse des gains de productivité globale des facteurs.

approche, la contribution à la croissance d'un facteur de production s'exprime comme le produit du taux de croissance du stock de capital de ce facteur par sa part de rémunération dans le revenu total. Ce flux de revenu est lui-même égal au produit du stock de ce facteur par son taux de rendement brut.

Les premiers résultats sur données américaines de Sichel (1997) évaluaient, sur la période 1987-1993, à seulement 0,15 point par an la contribution du seul matériel informatique. Sur la période 1996-1999, selon les calculs d'Oliner et Sichel (2000), cette contribution atteint 0,6 point par an, soutenue par la forte croissance du stock d'ordinateurs et par une rentabilité élevée⁴. Dans l'absolu, cette contribution est faible, mais compte tenu de la faible part du stock d'ordinateurs dans le stock total de capital (1,4 % en 1999), elle est plutôt élevée. La contribution de l'ensemble des TIC à la croissance est quant à elle évaluée à 1,08 point par an. Cette et *alii* (2000b) ont adopté cette approche pour l'économie française. Leurs calculs révèlent une contribution des TIC à la croissance française de 0,3 point par an sur l'ensemble de la période 1967-1999. Sur les années les plus récentes (1995-1999), la contribution augmente légèrement à 0,43 point par an. La contribution du seul matériel informatique est de 0,17 point par an. La contribution des TIC à la croissance est bien plus forte aux États-Unis quelle que soit la période couverte, et sur les dernières années, l'écart ne fait que s'accroître, ce qui confirme la plus grande rapidité de diffusion des TIC dans ce pays. Ce double constat est aussi valable pour les autres pays du G7 (tableau 2).

2. Contribution des TIC (hors logiciels) à la croissance dans les pays du G7

En points par an

	Canada	France	Allemagne de l'Ouest	Italie	Japon	Royaume-Uni	États-Unis
1980-1985	0,25	0,17	0,12	0,13	0,11	0,16	0,28
1985-1990	0,31	0,23	0,17	0,18	0,17	0,27	0,34
1990-1996	0,28	0,17	0,19	0,21	0,19	0,29	0,42

Source : Schreyer (2000), tableau 4.

4. Soit R le taux de rendement brut, r le taux de rendement net et d le taux de dépréciation. Dans le calcul de Sichel (1999), $R = r + d = 37\%$, avec $r = 12\%$ et $d = 25\%$ (c'est-à-dire que les ordinateurs perdent 25 % de leur valeur chaque année). La contribution du matériel informatique atteint ainsi 0,35 point par an sur 1995-1998. En revanche, dans le calcul d'Oliner et Sichel (2000), $R = r + d - p = 68\%$. r est ici un taux de rendement net réel, évalué à 4 % ; $d = 30\%$ et p un terme reflétant la variation relative des prix du matériel informatique par rapport au prix du PIB, évaluée à - 34 %. La rentabilité d'un investissement doit donc être élevée non seulement pour compenser l'obsolescence rapide de ces matériels mais également pour compenser le fait que d'une année sur l'autre leur prix baisse fortement relativement aux autres équipements. Brynjolfsson et Hitt (1996) estiment que le taux de rendement brut peut être encore plus élevé, de l'ordre de 81 %.

La comparaison des données américaines et françaises confirme que les TIC occupent une place bien plus importante dans la dynamique du capital fixe productif aux États-Unis qu'en France (tableau 3). Alors qu'en 1970, les ordinateurs (matériels informatiques) comptaient dans chaque pays pour environ 4 % de l'investissement hors bâtiments (en valeur), à la fin des années 1990, la part américaine est quasiment le double de la part française. L'écart est moins marqué pour les logiciels, mais la progression a quand même été plus importante aux États-Unis qu'en France. Quant aux matériels de communication, le profil est similaire. Les deux pays n'ont pas non plus engagé en même temps leur effort d'investissement. Aux États-Unis, la progression de la part des investissements en TIC dans l'investissement hors bâtiments s'est faite en deux sauts : le premier date des années 1980 avec l'utilisation croissante des ordinateurs personnels ; le second des années 1990, voire même de la seconde moitié des années 1990, avec le développement de l'Internet. En France, la première vague n'apparaît pas vraiment, et la seconde est moins marquée qu'aux États-Unis. Le saut se situe plus tard, vers la fin des années 1990.

3. Dépenses d'investissement en TIC en France et aux États-Unis

En %, données en valeur	Part dans l'investissement hors bâtiments				Part dans le PIB			
	1970	1980	1990	1998	1970	1980	1990	1998
France								
Matériels informatiques	3,7	3,6	4,6	5,4	0,3	0,3	0,4	0,4
Logiciels	2,5	3,2	5,2	10,4	0,2	0,2	0,4	0,7
Matériels de communication	6,0	6,3	6,1	7,8	0,5	0,5	0,5	0,6
États-Unis								
Matériels informatiques	4,0	5,5	9,0	10,8	0,3	0,4	0,7	1,0
Logiciels	3,4	4,7	11,7	15,1	0,2	0,4	0,9	1,4
Matériels de communication	9,8	11,3	11,1	10,1	0,6	0,9	0,8	0,9

Sources : tableau 1 de Cette et alii (2000a), BEA.

La plus forte contribution des TIC à la croissance américaine peut s'expliquer par le décalage conjoncturel entre les deux pays, et l'orientation plus favorable de la croissance en France pourrait progressivement le combler. Les différences institutionnelles qui existent entre les deux pays jouent certainement, mais Boyer (2000) met bien en évidence qu'il n'existe pas un modèle de croissance unique en soulignant les performances des pays scandinaves et de l'Irlande. Selon l'OCDE (2000), l'économie américaine bénéficie quand même d'un environnement « favorable à l'innovation et réceptif aux nouvelles technologies », caractérisé par une concurrence assez soutenue, un secteur des

télécommunications déréglementé, des liens étroits entre chercheurs et entreprises, un accès facile au capital humain et au capital-risque, de faibles contraintes administratives dans la création et la conduite d'une entreprise, un penchant naturel pour l'entrepreneuriat et la prise de risque, et son corollaire, l'acceptation de la faillite.

Définitions préliminaires

La confusion est grande sur ce que le terme de « nouvelle économie » signifie. Stiroh (1999) a regroupé les idées les plus répandues en trois types d'analyses : une version « croissance à long terme », une version « cycle », une version « sources de la croissance ». Bien que différant dans leurs implications, toutes ces analyses reposent sur l'idée que le développement des TIC et la globalisation croissante de l'économie ont contribué à créer de nouvelles règles de fonctionnement de l'économie américaine.

Selon la version « croissance à long terme », la « nouvelle économie » est simplement synonyme d'une économie qui peut croître plus vite sans tensions inflationnistes grâce à des gains tendanciels de productivité (du travail et globale) plus élevés, issus de l'utilisation des TIC. Concrètement, cela signifie que le taux de croissance potentielle de l'économie américaine est nettement supérieur au chiffre de 2,5 % habituellement retenu. Selon la version « cycle », la « nouvelle économie » est une économie caractérisée par un changement de l'arbitrage de court terme entre inflation et chômage. La mise en défaut de la courbe de Phillips est le résultat de changements structurels, ordonnés par l'informatisation et la globalisation, affectant le fonctionnement du marché du travail et permettant une baisse du NAIRU en deçà de 5 %. Une interprétation extrême de cette version est que la « nouvelle économie » est une économie a-cyclique⁵. Selon la version « sources de la croissance », la « nouvelle économie » est une économie qui s'appuie sur un modèle de croissance économique complètement différent⁶. L'approche économique conventionnelle voit la croissance comme la résultante de l'accumulation des facteurs de production et du progrès technique dans un monde où les rendements d'échelle sont à peu près constants. Au contraire, dans la « nouvelle économie », de nombreux secteurs bénéficient de rendements croissants. Ils sont rendus possibles d'une part, parce que, même si les frais fixes sont importants, les coûts variables sont faibles, ce qui incite à augmenter le plus possible la production. Et d'autre part, surtout parce que des effets de réseaux

5. Zarnowitz (1999) présente à la fois les arguments et les contre-arguments pour une telle disparition du cycle. Selon lui, des facteurs générateurs de gains de productivité ne sont pas nécessairement aussi générateurs d'une plus grande stabilité de l'économie.

6. Cette économie de l'information, pour reprendre la terminologie de Shapiro et Varian (1999), défie même, selon DeLong et Froomkin (1999), deux des principes fondamentaux de la pensée économique conventionnelle : la rareté et le contrôle.

existent. Dans une économie de réseaux, « *more creates more* ». C'est-à-dire que la valeur d'un réseau aux yeux des participants est faible lorsque le nombre de ces participants est lui-même faible, mais elle augmente très rapidement en même temps que le nombre de participants augmente⁷. Un produit gagne d'autant plus en popularité qu'il est compatible avec d'autres et que ses spécifications technologiques deviennent la norme : l'Internet et la suite Office Microsoft en sont les meilleurs exemples.

Ces différentes approches fournissent chacune des éléments de réponse à la question de l'exceptionnel dynamisme de l'économie américaine, mais sans être complètement satisfaisantes. Elles manquent encore de fondements empiriques solides, même si en l'espace de deux ans (entre le moment où Stiroh a fait cette synthèse et l'année 2000), au moins la vigueur des gains de productivité s'est confirmée. La validité de la thèse de la « nouvelle économie », quelle qu'elle soit, ne sera vraiment testée que lorsque l'économie américaine sera confrontée à une récession (au sens d'une contraction du PIB pendant deux trimestres consécutifs). Mais plus on accrédite la thèse d'une « nouvelle économie », moins il est facile d'imaginer à quoi ressemblera cette première récession. Le lien entre globalisation, informatisation et fonctionnement du marché du travail reste plutôt flou. Surtout, il n'est pas nécessaire d'invoquer une baisse du NAIRU pour justifier la modération exceptionnelle de l'inflation. L'économie américaine a profité ces dernières années d'une succession de chocs d'offre positifs. Gordon (1998) illustre cela en comparant le cycle actuel, non pas avec le cycle des années 1960 comme cela est fait habituellement, mais avec celui des années 1970 pour mettre en évidence la symétrie des chocs qui ont marqué les deux cycles. Autant la croissance américaine des années 1970 a été ébranlée par les chocs pétroliers, autant celle des années 1990 a été soutenue par les crises asiatique de 1997 et russe de 1998 du fait de la baisse induite des taux longs et de la désinflation importée. Selon Brender et Pisani (2000), la qualité et la crédibilité du *policy mix* ont également joué un rôle majeur. Enfin, rendements croissants et effets de réseaux ne sont pas vraiment des phénomènes nouveaux. L'expérience des TIC n'est pas non plus unique, d'autres produits ayant vu leur prix baisser et leur qualité augmenter au fur et à mesure de leur diffusion. Comme le souligne Aglietta (2000), il est dans la nature même de la croissance économique de se développer de manière inégale, sous l'impulsion des secteurs les plus modernes. En ce sens, il y a toujours une « nouvelle économie » cohabitant avec une ancienne économie. Nous revenons sur cette question de la nouveauté des TIC dans la section suivante.

7. Les effets de réseaux suivent la loi de Metcalfe : si un réseau est composé de n personnes et si la valeur que chacune de ces personnes accorde au réseau est proportionnelle au nombre des autres utilisateurs, la valeur totale du réseau (pour l'ensemble des utilisateurs) est proportionnelle à $n(n - 1)$.

Entre ces critiques et l'apologie de chaque approche, une vision intermédiaire des événements est en partie possible. Si l'on ne peut nier le rôle des chocs d'offre et l'importance de l'accumulation de capital, on ne peut pas non plus complètement occulter les évolutions technologiques en cours et leur impact sur la productivité globale des facteurs. L'Internet et les TIC, sans changer radicalement le fonctionnement de l'économie, en rendent le fonctionnement plus efficient en introduisant plus de concurrence du fait de l'abondance de l'information et de la quasi-nullité des coûts de transaction. Mais, et c'est là qu'apparaît un véritable paradoxe de la « nouvelle économie », simultanément à cet accroissement de la concurrence, l'existence de rendements croissants implique au contraire moins de concurrence et l'apparition de monopoles. Ces incohérences de fond rendent difficile la réconciliation idéale des analyses présentées plus haut en une explication cohérente unique tenant compte de l'impact de la globalisation et de l'informatisation à la fois sur la croissance à long terme et sur les dynamiques à court terme du marché du travail.

En l'absence d'un modèle théorique complet de la croissance américaine des années 1990, on peut se satisfaire, pour définir la « nouvelle économie », de l'hypothèse empirique, semblant faire de plus en plus consensus, d'un PIB potentiel durablement plus élevé (qui implique une période de croissance vive pour l'atteindre). Elle est assez bien illustrée par ce propos récent d'Alan Greenspan (2000) : « *La majeure partie de l'augmentation du niveau et du taux de croissance de la productivité depuis 1995 semble d'origine structurelle, tirée par des avancées irréversibles de la technologie et de ses applications* ». Si l'on retient dorénavant comme tendance de long terme des gains de productivité le chiffre de 2,2 %, et pour la population active une tendance de 1,2 % de croissance par an, on a une hypothèse « basse » de taux de croissance potentielle de 3,4 %. Une hypothèse « haute » de 4 % est même envisageable si l'on retient comme tendance de long terme des gains de productivité le rythme des quatre dernières années (soit 2,8 %). Nous revenons dans la deuxième partie de cet article sur la durabilité des gains de productivité actuels.

Le terme de troisième révolution industrielle est-il approprié ?

La confusion entourant le terme de « nouvelle économie » provient pour une part du débat qui porte sur celui de troisième révolution industrielle. La grande question est de savoir si l'on peut classer les innovations en matière de TIC dans la catégorie des innovations génériques. Selon Lipsey et *alii* (1998), une innovation générique doit respecter quatre caractéristiques : des possibilités d'évolution, une grande variété d'applications, une large présence dans de nombreux secteurs de l'économie et une complémentarité avec des technologies existantes ou potentielles.

Parmi ceux qui sont sceptiques à l'égard de la nouveauté et de l'intérêt des progrès technologiques actuels, il y a des nuances de discours. Sichel (1997) soutient que les progrès technologiques actuels ne sont pas sans précédent et s'inscrivent dans la continuité des développements passés. On ne doit donc pas en attendre un impact économique extraordinaire. Gordon (2000) considère que les ordinateurs et l'Internet ne « méritent » même pas d'être comparés à des innovations telles que l'électricité, le moteur à combustion ou encore plus récemment les biotechnologies. D'un autre côté, la révolution numérique n'est pas un épiphénomène : favorisée par un faible coût d'accès à la technologie, elle a un impact sur pratiquement toutes les activités et branches de l'économie. Brynjolfsson et Hitt (1998), Gelauff et de Bijl (2000) considèrent les TIC comme l'égal des innovations génériques précédentes puisqu'elles respectent leurs caractéristiques fondamentales. Ces technologies ont déjà fortement évolué mais de nombreuses possibilités restent encore à explorer, en particulier en matière de réseaux. La variété d'applications est grande lorsque l'on considère la pénétration des TIC dans des domaines tels que la navigation aéronautique, les scanners médicaux, les lecteurs de CD, les communications en général, le traitement de texte, etc. Il y a par ailleurs peu de sphères de l'activité économique où ces technologies ne sont pas présentes sous une forme ou une autre. Et enfin, la complémentarité avec d'autres innovations technologiques se reflète dans la grande variété d'applications mentionnée ci-dessus. Les TIC modifient également le processus de production, les techniques de *marketing*, l'intermédiation bancaire ou encore la façon de consommer. Le point de vue de Greenspan (1999) sur ces évolutions est également très proche de la définition d'une troisième révolution industrielle :

« Les synergies qui se sont développées entre, principalement, les micro-processeurs, la technologie du laser et des fibres optiques et les communications par satellite, ont considérablement augmenté le rendement potentiel des nouveaux investissements en télécommunications, et plus largement, des nombreux investissements qui contiennent ou utilisent ces TIC. [...] Les dernières innovations en TIC ont commencé de modifier la manière dont on travaille et crée de la valeur, souvent dans une proportion inimaginable il y a cinq ans. [...] Les entreprises ont ainsi pu substituer de manière beaucoup plus productive qu'il y a dix ou vingt ans le capital au travail. [...] Ce comportement est en opposition avec ce qui se passait dans les années 1970 et 1980, au cours desquelles les entreprises trouvaient plus facile et plus profitable de se protéger contre la progression des coûts salariaux nominaux en augmentant leurs prix plutôt qu'au travers d'investissements visant à réduire directement les coûts de production ».

Les implications des TIC sont nombreuses et connues. Elles procurent une grande fluidité à la circulation de l'information tout au long de la

chaîne de production, permettant une meilleure adaptation de l'offre à la demande. Cela permet une réduction du degré d'incertitude auquel sont confrontées les entreprises, et donc du risque lié à toutes activités marchandes. C'est pour préparer cette restructuration fondamentale des modes d'organisation industrielle que les entreprises investissent massivement dans les TIC. Les réseaux de communication mis en place grâce aux TIC, et l'Internet en particulier, rendent possible la coordination en temps réel des activités des différents pôles de décision d'une entreprise. Avec le développement du commerce électronique, les canaux intermédiaires de production et de distribution sont limités voire supprimés, impliquant un développement parallèle intense des structures de logistique. Les effectifs nécessaires et les coûts inhérents à cette coordination sont donc considérablement réduits. Les gains d'efficience apportés par cette restructuration sont typiquement des gains de productivité globale des facteurs.

Le fait que toutes les étapes (de la conception à la production) puissent être traitées quasi-simultanément et non plus les unes à la suite des autres permet de produire plus à des coûts inférieurs. Les coûts d'achat sont réduits grâce à une meilleure gestion des fournisseurs et à une réduction du coût de traitement des transactions. Ce sont d'ailleurs ces coûts d'approvisionnement qui pourraient être les plus réduits par le développement du commerce électronique entre entreprises⁸. Les coûts de production sont abaissés grâce à la réduction des temps de cycle⁹, à la meilleure planification de la production, à la rationalisation de la logistique et des stocks. La meilleure gestion des fournisseurs évite à l'entreprise de stocker pour se prémunir contre les retards et les erreurs. Son temps de réaction aux variations de la demande en est amélioré, ce que reflète la baisse régulière, au cours du cycle actuel, du ratio stocks/ventes, ses coûts opérationnels sont réduits et donc ses profits augmentés. Elle maîtrise mieux ses propres délais de livraison : la remarquable stabilité de cet indicateur au cours du cycle actuel en est la preuve. Réduire le niveau des stocks permet une utilisation plus efficace des capacités de production. Cela autorise des économies d'investissement en bâtiments et en équipements industriels. Enfin, pour les entreprises de l'« ancienne économie », les coûts de *marketing* sont réduits car elles peuvent atteindre des clients nouveaux et traiter les clients existants plus efficacement et à plus grande échelle. La réduction de ces différents coûts peut finalement être répercutée sur les prix aux clients.

8. Brookes et Wahhaj (2000) estiment que les coûts d'approvisionnement pourraient être réduits de 2 % dans l'industrie minière jusqu'à 40 % dans l'industrie des composants électroniques. Le coût de fabrication d'une voiture pourrait être réduit de 14 %. Ces chiffres sont confirmés par ceux indiqués par les trois grands constructeurs automobiles américains lors de l'annonce de la création de leur site d'échanges industriels en ligne (Covisint). Grâce à l'augmentation de la concurrence, les coûts d'achat pourraient être réduits de 10 % sur plusieurs années. Selon les dirigeants, « puisque la moitié des 20 000 \$ que coûtent une voiture vient des composants achetés, le nouveau système pourrait réduire le coût de production d'une voiture standard d'environ 1000 \$ ».

9. C'est-à-dire le laps de temps qui sépare la conception de la production d'un produit.

Les TIC peuvent-elles créer un cycle de croissance durable ? Un éclairage par la théorie de la croissance

Il y a manifestement un assez large déséquilibre entre les perspectives merveilleuses ouvertes par ces bouleversements de la production et les preuves empiriques encore fragiles que l'on peut avancer pour soutenir cette vision. Si une véritable révolution technologique est en cours, il est de toute façon bien trop tôt pour que des données statistiques incontestables viennent en confirmer la présence avec certitude. Un recours aux résultats de la littérature théorique sur *l'innovation et les déterminants de la croissance à long terme* peut donc être d'une grande utilité pour éclairer le débat.

Ces travaux théoriques permettent en effet de préciser la nature des mécanismes conduisant de l'innovation à un éventuel supplément de croissance et, ce faisant, ils donnent des indications sur ce qui peut être considéré comme réellement nouveau dans la « nouvelle économie ». D'autre part, les modélisations récentes de la croissance se sont appliquées à mieux prendre en compte les dynamiques transitionnelles qui apparaissent lors d'une innovation *générique*. Dans ce type d'approches, l'analyse ne se focalise plus tant sur la genèse d'une croissance soutenue à long terme que sur l'explication des cycles longs et de la déconnexion entre l'apparition des innovations et l'élévation du taux de croissance. Il est alors possible d'en tirer des scénarios de diffusion et de les confronter à la réalité.

Nous tentons dans un premier temps de dégager ce que les modèles de croissance « standards » peuvent nous apprendre sur la nature de la « nouvelle économie ». Nous analysons dans un second temps l'apport des modèles plus récents d'innovation générique.

Croissance et connaissance

Il y a dans les premières générations de modèles de croissance endogène un grand nombre de résultats permettant d'expliquer une élévation du rythme de croissance de long terme sans supposer une révolution technologique.

Les premières théorisations du phénomène d'« apprentissage par la pratique » élaborées dans le cadre défini par Arrow (1962) et Sheshinski (1967) ont montré qu'une croissance durable pouvait provenir de la diffusion des connaissances générée par l'utilisation du facteur travail. L'accroissement de l'efficacité productive résulte alors de l'expérience pratique accumulée par les salariés.

De manière similaire, D. Romer a montré que la croissance peut être favorisée par un accroissement du stock global de savoir-faire lié à un phénomène d'« apprentissage par l'investissement ». Cette idée est

formalisée par Romer (1986) au travers de l'hypothèse selon laquelle l'accumulation de capital de chaque firme prise isolément accroît le stock de connaissance de la société dans son ensemble¹⁰, ce qui permet une hausse de l'efficacité du travail dans chaque firme. Si cette hypothèse est vérifiée, l'effet des rendements décroissants au niveau de la firme peut être compensé par les effets bénéfiques de la diffusion des connaissances au niveau global : une croissance durable peut alors exister sans que se produise le moindre progrès technique exogène. Il en est ainsi parce que l'accumulation de capital accroît le stock global de savoir-faire des travailleurs. Cela se traduit, par exemple, par des progrès dans l'organisation du travail réalisés à l'occasion de l'arrivée d'un nouvel équipement, ou encore des améliorations de la sécurité ou de la qualité mises en place elles aussi à l'occasion de l'installation d'un nouveau matériel. Dès lors, même si les machines qu'ils utilisent ne sont pas plus performantes, les travailleurs sont capables d'en tirer une production accrue grâce à ce supplément de savoir-faire généré par leur expérience grandissante. Cette croissance auto-entretenu ne peut cependant exister que si les connaissances nouvelles acquises par les travailleurs au niveau d'une firme donnée peuvent être mises gratuitement et immédiatement à la disposition des autres firmes.

Ces premiers modèles de « *learning by doing* » fournissent des éléments de réflexion intéressants. A première vue, ils semblent indiquer que le point crucial est bien plus la façon dont les connaissances sont extraites et diffusées que la nature du capital accumulé par les firmes. En effet, si l'on admet leurs hypothèses, on est tenté de conclure que c'est la fluidité de la diffusion du savoir-faire qui génère de la croissance entretenue, la nature des techniques mises en œuvre important finalement assez peu. En un sens, ce type de conclusion semble assez vraisemblable au regard de la comparaison internationale des performances de croissance : on peut penser que les écarts de réussite sont bien moins liés à des choix technologiques profondément différents qu'à la manière dont les différentes nations ont su saisir les opportunités ouvertes par les arrivées successives d'équipements nouveaux, en diffusant les connaissances nouvelles incorporées dans ces équipements. On serait alors tenté de conclure que ce sont les conditions de l'acquisition des savoirs qui importent, de sorte que les ordinateurs et l'Internet n'auraient pas de vertus particulières en comparaison d'autres innovations. Néanmoins, la séparation n'est pas aussi nette que cela : le choix entre l'Internet et le minitel a pu sembler provisoirement sans conséquence lorsque le second offrait autant d'opportunités de nouveaux services que le premier. La question fondamentale était alors seulement : avec quelle rapidité les utilisateurs potentiels sont-ils susceptibles de s'approprier cette technologie ? Cependant, lorsque la

10. Cela peut se traduire par une fonction de production de la forme $Y_i = F(K_i, K, L_i)$, dans laquelle tout accroissement du stock global de capital élève l'efficacité de chaque firme i par l'intermédiaire d'un progrès technique incorporé au facteur travail.

rapidité de transmission des données et la diversité des usages devinrent des éléments cruciaux, le minitel sembla buter sur une contrainte technique. Le problème était alors qu'il n'y avait plus de possibilité d'inventer des usages nouveaux, pour des raisons techniques. Cela montre que savoir-faire et progrès technique se stimulent mutuellement.

En soulignant que l'augmentation du stock de connaissances est un facteur essentiel de la croissance, les travaux qui viennent d'être décrits pourraient, d'une certaine manière, donner des arguments pour défendre l'idée selon laquelle l'Internet n'est pas une innovation technologique comme les autres. On peut penser en effet que la rapidité de diffusion des connaissances est considérablement accrue par cette technologie qui réduit si fortement le coût de l'information¹¹. Néanmoins, les tentatives de validation empirique de ces modèles de « *learning by doing* » à la Romer conduisent à relativiser ce point de vue. En effet, ces études montrent que l'accroissement du stock de connaissances est positivement influencé par l'accumulation de capital *physique*, mais il y a peu de résultats similaires en ce qui concerne l'accumulation de capital immatériel. Si l'on comprend bien que l'adaptation à un nouvel équipement oblige les salariés à envisager des manières de travailler plus efficacement, on voit mal comment des firmes du secteur tertiaire — dont le capital est essentiellement composé de marques ou de portefeuilles de clients — pourraient bénéficier de tels phénomènes. En outre les processus d'apprentissage par la pratique mis en avant par Arrow suggèrent que l'apprentissage dérive de *l'expérience*. De ce point de vue, la « nouvelle économie » n'a peut-être pas toutes les qualités qu'on lui prête, pour au moins deux bonnes raisons : d'une part la précarisation des emplois n'est certainement pas un facteur facilitant l'acquisition de l'expérience et du recul nécessaire pour pouvoir être en mesure de suggérer des améliorations de méthode. D'autre part, la vitesse avec laquelle les logiciels et autres outils multimédia deviennent obsolètes n'est certainement pas un facteur d'accélération des processus d'apprentissage par l'expérience, même si elle sollicite beaucoup la faculté d'adaptation des salariés.

Innovation, mondialisation et croissance

Comme nous l'avons souligné à propos de l'interprétation des premiers modèles de « *learning by doing* », il n'est pas possible de séparer complètement l'analyse de l'apprentissage de savoirs nouveaux de l'étude des innovations technologiques. C'est pourquoi les généra-

11. L'organisation en réseau est considérée par une partie de la littérature théorique comme un facteur important dans la genèse des innovations et leur diffusion. Les TIC jouent sans doute un rôle accélérateur pour la mise en réseau des connaissances. On peut penser à l'exemple du système d'exploitation Linux : la mise en réseau des suggestions d'amélioration est un facteur important de l'adaptation du produit aux besoins des clients. Elle génère de nombreuses innovations « incrémentales ».

tions suivantes de travaux se sont consacrées à l'approfondissement du lien entre la croissance et les innovations, ces dernières étant comprises dans leur double dimension d'innovation de produit et de procédé¹².

Dans les modèles d'*innovation de produit*, le produit nouveau peut être soit un bien intermédiaire intervenant dans la fonction de production, soit un produit final intervenant dans l'indice de satisfaction des consommateurs. Ce second cas ne mène pas à des conclusions fondamentalement différentes du premier en ce qui concerne notre analyse des fondements théoriques de la « nouvelle économie »¹³. Nous nous concentrons donc sur le modèle à variétés de biens intermédiaires¹⁴.

Dans ce cas, ce sont les propriétés de la fonction de production qui sont à l'origine de l'existence d'une croissance endogène : les rendements sont non décroissants lorsque l'augmentation de la quantité de biens intermédiaires utilisés découle d'une augmentation du *nombre* de biens intermédiaires, la *quantité* de chaque bien intermédiaire utilisée par les firmes étant donnée. De manière simplificatrice, l'innovation est supposée apparaître selon un processus déterministe : un effort déterminé aboutit avec certitude à une innovation, c'est à dire à l'apparition d'un nouveau type de bien intermédiaire. Chaque producteur de bien final a accès aux biens intermédiaires nouveaux ; l'inventeur de biens intermédiaires nouveaux obtient un brevet qui le place dans une situation de monopole.

L'hypothèse selon laquelle l'efficacité productive serait améliorée par l'augmentation du *nombre* de biens intermédiaires disponibles est loin d'être une vue de l'esprit. On peut en effet comprendre que l'élargissement de la gamme des biens intermédiaires disponibles permet une meilleure adéquation entre la nature du bien utilisé à un moment donné du processus de production et la nature de la tâche qui doit alors être effectuée. 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.

12. Une présentation détaillée de ces modèles est donnée dans l'article de Cerisier et Schubert (2000).

13. Romer (1990).

14. Ces modèles ont été développés grâce aux travaux de Spence (1976), Dixit et Stiglitz (1977), Ethier (1982) et Romer (1987). Ils supposent en général une fonction de production de la firme i de la forme :

$$(1) Y_i = A \cdot (L_i)^{1-a} \cdot \int_0^N [X_{ij}]^a dj$$

où $0 < a < 1$, Y_i est la production, L_i le travail et X_{ij} la quantité de bien intermédiaire j utilisée par la firme i , N le nombre de biens intermédiaires utilisés par chaque firme. À l'équilibre symétrique où $X_{ij} = X_j$ on a :

$$(2) Y_i = A \cdot L_i^{1-a} \cdot N \cdot X_j^a = A \cdot L_i^{1-a} \cdot (NX_j)^a \cdot N^{1-a}$$

Les rendements ne sont pas décroissants si l'augmentation de NX_j vient de l'augmentation de N .

Une présentation détaillée de ce type de modèles et de leurs principaux résultats peut être trouvée dans le manuel de Barro et Sala-I-Martin (1996).

Les anciens biens intermédiaires (photocopieuses, fax, enveloppes, véhicules de transport, etc.) ne sont donc plus utilisés que lorsque cela est strictement nécessaire. 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.

Une des propriétés essentielles des modèles d'innovation de produits est que le taux de croissance de long terme s'élève lors d'une baisse du coût d'invention des produits nouveaux car la hausse du profit de monopole accroît l'incitation à inventer. Ils se caractérisent aussi par la présence d'un *effet d'échelle*, c'est à dire que le taux de croissance est une fonction croissante de la taille de l'économie, représentée ici par la quantité de main-d'œuvre disponible. Cet effet provient du fait qu'une augmentation de la quantité de main-d'œuvre disponible permet de répartir le coût fixe de création d'un produit nouveau sur un plus grand nombre de produits vendus. Il ne doit pas être interprété comme un impact positif de la taille de la population ou de l'ampleur de la production nationale sur la croissance de long terme, car ceci est loin d'être vérifié empiriquement. Il faut plutôt considérer qu'il s'agit là d'une illustration de l'impact positif de la *taille du marché* (i.e. de l'importance de la demande solvable). Cette relation entre la taille des marchés et la croissance de long terme semble particulièrement pertinente pour comprendre la période de croissance actuelle : la *mondialisation* peut en effet être comprise comme un stimulant très puissant des innovations.

L'interprétation qu'il faut retirer de ces analyses théoriques est, une fois encore, nuancée en ce qui concerne la part attribuable au seul facteur technologique. On peut ainsi citer nombre d'autres facteurs ayant joué un rôle au moins aussi important : l'apparition d'une demande solvable des pays d'Asie du Sud-Est, de certains pays de l'Est et d'Amérique latine ; l'homogénéisation des espaces monétaires ; le développement des firmes multinationales et des entreprises-réseau (Reich 1991 ; Lafay, 1997). Tous ces éléments ont conduit à une intensification remarquable des échanges de biens et services et de la circulation des capitaux : la part des échanges courants dans le PIB mondial a plus que doublé en 30 ans ; les flux mondiaux de capitaux ont connu quant à eux une évolution explosive. Le constat empirique semble donc assez conforme au modèle théorique d'élargissement de la taille du marché. Les ordinateurs sont loin de tout expliquer. Par contre, l'idée d'un impact favorable de l'Internet trouve un soutien théorique assez solide dans ces modèles reliant taille des marchés et croissance puisque n'importe quel produit ou service vendu sur la toile dispose de fait d'un marché potentiellement mondial. Néanmoins, la part du commerce électronique dans les échanges nationaux et internationaux reste pour l'instant tout à fait minime ¹⁵.

15. Aux États-Unis, selon les statistiques du *Bureau of the Census*, le *e-retail*, appellation consacrée pour le commerce électronique de détail, représente, au troisième trimestre 2000,

L'autre grande catégorie de modèles décrivant le lien entre innovation et croissance — les *modèles d'innovation de procédé* — donne des résultats assez similaires en ce qui concerne l'impact du coût de la R&D et de la taille des marchés. Ces modèles apportent cependant un élément supplémentaire pour comprendre les ressorts de la croissance, puisqu'ils formalisent la notion schumpetérienne de « destruction créatrice » en décrivant l'obsolescence des produits anciens de qualité inférieure (Aghion et Howitt, 1998). Ces modèles prennent en effet en compte une externalité négative provenant de l'obsolescence des biens intermédiaires anciens provoquée par une innovation : on parle alors de « *business-stealing effect* » parce que les producteurs de l'innovation précédente n'ont pas le temps d'exploiter pleinement les rentes de monopole qu'ils s'étaient créées. Cette manière de formaliser le phénomène de *destruction créatrice* permet de rendre compte des difficultés générées par la rapidité avec laquelle les nouvelles technologies remettent en cause le pouvoir de marché de certaines firmes : il suffit pour s'en convaincre d'observer ce qui se passe actuellement dans l'industrie du disque avec l'apparition du format de compression MP3 et de sites comme Napster.

Cette idée selon laquelle l'impact favorable des innovations pourrait être atténué par des externalités négatives est approfondie dans une génération récente de modèles de croissance : les modèles de *General Purpose Technologies* (GPT).

Dynamiques transitionnelles et analyse de l'impact des innovations génériques

Dans son fameux article « The dynamo and the computer », David (1990) rappelle que « *notre situation présente n'est pas sans précédent, si l'on adopte une perspective de longue période. Il y a en effet de remarquables similitudes entre le phénomène actuel du 'paradoxe de productivité' concernant la révolution informatique, et tout un ensemble de bouleversements économiques et technologiques qui eurent lieu au début du 20^e siècle* ». Cette étude très poussée de l'histoire économique de la diffusion de l'énergie électrique permet d'être relativement optimiste quant à un éventuel effet favorable des TIC sur la productivité et la croissance : elle montre clairement que le ralentissement de

0,78 % des ventes de détail totales, soit 6,4 milliards de dollars. Les estimations pour 2002 du commerce électronique avec les consommateurs (B2C pour *business to consumers*), se montent entre 40 et 80 milliards de dollars. En ce qui concerne le commerce entre entreprises (B2B pour *business to business*), les estimations de Forrester sont de 1,3 trillion de dollars d'ici 2003. Mais derrière ces chiffres et malgré les effets d'annonce des accords de B2B entre grandes entreprises (comme Covisint entre les trois constructeurs automobiles américains ou GlobalNextXchange entre Sears et Carrefour), le développement du B2B en est encore à ses débuts. Un sondage effectué par la *National Association of Manufacturers* en février 2000 a révélé que 68 % des sondés ne pratiquent pas le commerce électronique.

la croissance est un moment nécessaire de la diffusion, moment qui est normalement suivi par une phase d'accélération lorsque suffisamment de firmes utilisent les nouveaux équipements. Dans le cas de l'énergie électrique aux États-Unis, l'auteur souligne ainsi que la rupture favorable dans le *trend* de croissance de la productivité globale des facteurs n'eut pas lieu « *avant que plus de la moitié des machines utilisées dans les usines ne soient électrifiées* ». Un délai d'environ 40 années fut donc nécessaire entre l'apparition des premières centrales électriques et le redémarrage de la croissance de long terme. La diffusion des TIC prend, elle aussi, beaucoup de temps¹⁶. En effet, les premiers ordinateurs sont apparus vers la fin des années 1940 aux États-Unis¹⁷. Le premier micro-ordinateur, prénommé « Altair » n'a été construit qu'en 1974. Quant à l'Internet, son histoire remonte aux années 1960 avec la mise en place par l'armée américaine du projet *Arpanet* aboutissant à une première liaison entre l'UCLA (Université de Los Angeles) et Stanford en 1969. Son utilisation n'est devenue vraiment intensive qu'avec l'apparition de la toile (le *world wide web*) en 1990 puis, en 1993, des interfaces permettant de naviguer, de manière conviviale, sur la toile (les *browsers*). Si l'on admet que les premiers signes de rupture du *trend* de productivité commencent tout juste à se révéler aux États-Unis, les bienfaits des ordinateurs et de l'Internet ne semblent pas se diffuser beaucoup plus rapidement que les autres révolutions technologiques. Néanmoins, ce constat est finalement plutôt rassurant puisqu'il suggère que l'on est bien en présence d'innovations *radicales*.

Si l'on admet que les ordinateurs et l'Internet sont bien des innovations génériques, il est utile de recourir aux travaux utilisant le concept de *General Purpose Technologies* dans des modèles avec dynamique transitionnelle. Cela permet de comprendre précisément ce qui fait problème dans l'apparition d'une innovation *générique* : l'existence d'une période critique au cours de laquelle l'innovation est coûteuse en terme de croissance.

L'annexe I décrit un modèle de croissance avec innovations génériques construit par Helpman et Trajtenberg (1994). Cette génération de modèles reprend des fonctions de production avec variétés de biens intermédiaires, de sorte que la croissance est toujours reliée à des phénomènes d'allongement du détour de production. Cependant, les variétés de biens intermédiaires (ou « composants ») sont attachées à différentes générations de technologies. Chaque type de technologie est

16. Il faut néanmoins se méfier des comparaisons qui se contentent d'observer l'échelle du temps : peut-être que l'Internet n'a mis que 4 années à dépasser les 50 millions d'utilisateurs alors qu'il en avait fallu 38 pour la radio, mais l'on ne sait pas comparer les niveaux de satisfaction atteints par ces 50 millions de premiers utilisateurs. En outre, le chiffre de 50 millions ne signifie rien en lui-même : c'est relativement à la taille du marché mondial que la mesure de la diffusion doit être exprimée.

17. La première calculatrice électronique a été construite en 1946 à l'Université de Pennsylvanie et le mot « ordinateur » n'a été employé pour la première fois que 10 ans plus tard.

générique en ce sens qu'elle incite à produire des biens intermédiaires nouveaux. La dynamique de la croissance est alors rythmée par un processus en deux phases : soit D l'intervalle de temps entre deux innovations radicales, soit D_1 la longueur de la phase d'invention de composants nouveaux sans utilisation de ceux-ci (phase 1) et soit D_2 la longueur de la phase d'utilisation des composants de la nouvelle génération (phase 2). Une technologie générique i apparaît au début de la période D_1 et des investissements en R&D sont effectués pour inventer des composants nouveaux utilisant cette technologie i . Les ressources consacrées à l'invention de ces nouveaux biens intermédiaires sont prélevées dans le secteur de production des biens finaux, ce qui conduit à un ralentissement de la croissance de ce secteur. Lorsqu'un nombre suffisamment grand de biens intermédiaires de nouvelle génération ont été inventés, la production des biens intermédiaires de nouvelle génération commence et la nouvelle technologie est adoptée dans le secteur de production des biens finaux. L'usage et la production de tous les biens intermédiaires de type $i-1$ sont abandonnés. La R&D utilisant le paradigme technologique i se poursuit, de sorte que le nombre de biens intermédiaires du type i continue à s'accroître jusqu'au moment où une nouvelle innovation générique apparaît.

Cette représentation du processus de diffusion des innovations permet de proposer une explication du paradoxe de productivité. Elle implique en effet l'enchaînement suivant : lorsqu'une innovation générique apparaît, son exploitation dans le secteur des biens finaux n'est pas immédiatement rentable : il faut qu'il existe un nombre suffisant de biens intermédiaires utilisant cette technologie pour que l'abandon des anciennes techniques soit justifié. Ainsi, lorsque les premières ampoules électriques sont apparues, il est devenu théoriquement possible de faire tourner les usines la nuit. Mais cela n'est devenu économiquement rentable que lorsqu'il a existé suffisamment de machines capables d'utiliser l'énergie électrique pour fonctionner en permanence. C'est seulement à partir de ce moment qu'il est devenu intéressant d'utiliser l'électricité dans l'ensemble de la chaîne de production, de manière à exploiter la souplesse permise par cette nouvelle forme d'énergie. Sans doute en est-il de même en ce qui concerne les ordinateurs et l'Internet : l'informatisation et la mise en réseau ne sont pleinement rentables que lorsqu'il existe un nombre suffisant d'équipements susceptibles d'être connectés entre eux, ce qui permet d'exploiter pleinement l'effet de réseau.

La mobilisation de ressources dans la recherche et développement constitue donc un préalable à l'exploitation des bienfaits d'une innovation radicale : elle permet de produire les innovations secondaires nécessaires à l'exploitation des possibilités techniques ouvertes par l'innovation générique. Cette mobilisation n'est possible que s'il existe des rentes de monopole pour les innovateurs qui se consacrent à la

production des biens intermédiaires nouveaux. Ce déplacement des ressources conduit à un ralentissement de la croissance dans le secteur des biens finaux. Néanmoins, ce ralentissement est plus que compensé dans la phase d'exploitation de la nouvelle technologie.

Cette conception du progrès technique a l'intérêt de fournir une réponse originale aux débats actuels sur la localisation des gains de productivité liés aux TIC. En effet, face aux économistes qui prétendent que ceux-ci seraient uniquement localisés dans les secteurs producteurs de nouvelles technologies, les modèles de *General Purpose Technologies* proposent une vision quelque peu différente. Supposons que, dans ces modèles, le secteur producteur de TIC soit représenté par les entreprises produisant les biens intermédiaires tandis que le secteur utilisateur est constitué de celles qui produisent le bien final. Dans ce cas, le modèle indique qu'une quantité plus grande de bien final peut être produite avec la même quantité globale d'inputs, pourvu que le nombre des composants intermédiaires s'accroisse. En conséquence, la productivité globale des facteurs peut s'accroître dans les secteurs utilisateurs même si elle n'est pas modifiée dans les secteurs producteurs.

Greenwood et Jovanovic (1998) ont proposé une analyse donnant une autre interprétation du problème de la diffusion des secteurs producteurs vers les secteurs utilisateurs et permettant d'en comprendre l'éventuelle lenteur. L'annexe II présente une partie de leurs hypothèses. Ils utilisent le modèle à générations de capital proposé par Solow (1960) de manière à distinguer le secteur où le capital est produit de celui où il est utilisé pour produire le bien final. Le progrès technologique a lieu dans le premier secteur et la diffusion à l'ensemble de l'économie se fait par une « externalité pécuniaire », la baisse du prix des biens d'équipement. Ce cadre a l'intérêt d'être cohérent avec le constat de R. Gordon selon lequel les gains de productivité globale seraient essentiellement localisés, pour l'instant, dans les secteurs producteurs de nouvelles technologies. Il permet aussi d'analyser les effets potentiels de la baisse du prix des biens d'équipement.

Les auteurs démontrent eux aussi que l'adoption d'un nouveau paradigme technologique peut conduire à un ralentissement provisoire de la croissance. L'intérêt principal de leur démarche est de montrer que les effets positifs des externalités de réseau — telles qu'elles sont décrites par exemple dans la loi de Metcalfe — ne fonctionnent pas immédiatement, à cause de délais d'apprentissage et de diffusion. Plus précisément, ils montrent que les effets bénéfiques de ces externalités, ainsi que ceux liés à l'apprentissage par la pratique, sont dans un premier temps contrecarrés par deux types de phénomènes. Le premier est l'existence d'un progrès technique trop rapide obligeant à passer beaucoup de temps dans des activités d'apprentissage, alors qu'il est aussi nécessaire d'assimiler les savoirs en les utilisant dans l'activité de production (1^{er} terme du membre de droite de l'équation 3). Le second provient

des délais inhérents à la diffusion de tout produit nouveau (cycle de vie des produits). Ces délais impliquent que les externalités de diffusion ne donnent leur plus grand bénéfice que lorsque les produits du nouveau paradigme atteignent leur phase de maturité (second terme du membre de droite de l'équation (3)). De ce fait, la notion de « *second mover advantage* » semble trouver ici une validation formelle : il n'est pas nécessairement bon d'adopter un nouveau paradigme technologique en premier, puisque l'on risque alors d'être dans la situation où les coûts d'apprentissage dépassent encore les gains liés aux externalités de diffusion. Par contre, il semble que ce modèle ne permette pas véritablement de trancher la question de l'origine des gains de productivité puisqu'il suppose que le progrès technique a lieu aussi bien dans les secteurs « producteurs » que dans les secteurs « utilisateurs » et puisqu'il impose cette croissance de la productivité de manière *ad hoc*.

Cette présentation de la littérature théorique montre la grande complexité des développements en cours¹⁸. La deuxième partie de cet article a maintenant pour objet de présenter les éléments empiriques susceptibles d'étayer ces affirmations théoriques.

Comparaison des processus de diffusion des TIC aux États-Unis et en France

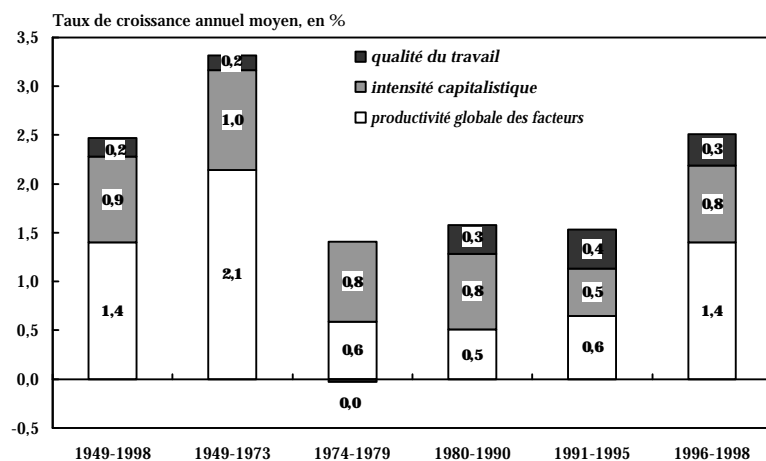
Le paradoxe de la productivité mis en avant par la remarque de Solow (1987) selon laquelle « *on voit les ordinateurs partout, sauf dans les statistiques de productivité* » n'a pas la même importance en France et aux États-Unis. Aux États-Unis, tout le débat reposait sur l'absence d'accélération significative des gains de productivité horaire du travail alors que les entreprises américaines investissaient depuis une vingtaine d'années massivement dans les TIC. Dans la mesure où les chiffres récents révèlent une telle accélération depuis 1995 (graphique 1), il faut en déterminer à présent l'ampleur, la durabilité et la nature, en évaluant dans quelle mesure les TIC contribuent à cette accélération. Du fait même de cette accélération, le paradoxe pourrait être considéré comme obsolète¹⁹. En fait, il existe toujours, mais il ne se pose plus tout à fait dans les

18. La présentation que nous venons de donner des explications théoriques du paradoxe de productivité est loin d'être exhaustive. Certaines approches plus hétérodoxes donnent également des résultats très intéressants. Il faut signaler notamment les travaux d'Amendola et Gaffard (1998, 2000) dans lesquels le paradoxe est expliqué par les désajustements entre l'offre et la demande de qualifications sur le marché du travail. Ces auteurs obtiennent notamment le résultat suivant : après un choc technologique positif, une politique de soutien de la demande peut être nécessaire pour compenser l'effet négatif du sous-emploi généré par le problème d'adéquation entre les nouvelles qualifications requises et la formation des salariés. En l'absence d'une telle politique, le progrès technique engendre du sous-emploi qui provoque une chute de la demande, de la production et du capital accumulé.

19. Ce que Solow a lui-même reconnu pour la première fois dans un article d'Uchitelle (2000).

mêmes termes : il s'est déplacé à un niveau plus désagrégé, ce que révèle le débat sur le processus de diffusion. A cet égard, les explications traditionnelles avancées pour éclairer le paradoxe de la productivité restent pertinentes (difficultés de mesure²⁰, délais d'apprentissage et de diffusion, faible part dans le stock de capital).

1. Décomposition des gains de productivité horaire du travail dans le secteur privé aux États-Unis (1949-1998 et sous-périodes)



Source : BLS.

Le débat sur la « nouvelle économie » est bien plus récent en France. Ce pays ne connaît une phase de reprise réelle de l'activité que depuis 1997, après plusieurs années de « croissance molle ». Cette croissance est certes vigoureuse et accompagnée d'une inflation limitée, d'une forte décrue du chômage et de gains de productivité horaire du travail de l'ordre de 2,7 % par an dans l'ensemble de l'économie et de 4,5 % par an dans l'industrie. Selon les données compilées par la Commission européenne (2000), la France apparaît même comme le seul pays de l'Union européenne à ne pas avoir vu ses gains de productivité du travail ralentir entre la première et la deuxième moitié de la décennie 1990. Néanmoins, le recul statistique reste encore insuffisant pour prendre la mesure des développements en cours. Les gains de productivité sont brouillés par des problèmes spécifiques (incitation à l'emploi de travailleurs non qualifiés, baisse de la durée du travail). De plus, ils sont largement expliqués par l'intensification de l'utilisation des facteurs de production qui caractérise toute phase de redémarrage. De même, le dynamisme de l'investissement productif (de l'ordre de 7 % l'an) n'a rien d'exceptionnel pour un début de cycle.

20. Voir pour plus de détails sur ces questions Sichel (1997), le dossier « Measuring productivity » dans la *Monthly Labor Review* de février 1999, et Triplett et Bosworth (2000).

La comparaison des processus de diffusion des TIC dans les deux pays nécessite donc de mobiliser deux approches différentes. Nous précisons dans un premier temps, sur la base de la littérature américaine, les caractéristiques essentielles du processus de diffusion des TIC dans l'économie américaine, en révélant l'origine et la localisation des gains de productivité. L'analyse de la situation française se fera, elle, essentiellement sur la base de données sectorielles.

Existe-t-il un schéma de diffusion à l'américaine ?

Le débat sur le processus de diffusion se scinde en deux : l'effet des TIC sur l'intensité capitalistique et l'effet sur la productivité globale des facteurs (PGF). Pour chacun de ces effets, les études américaines distinguent les gains provenant des secteurs producteurs des gains provenant des secteurs utilisateurs. Il y a consensus aujourd'hui sur le fait que les secteurs producteurs dégagent des gains importants de productivité du travail soutenus par une accélération de la PGF. Le débat porte plus précisément sur le fait de savoir si les secteurs utilisateurs bénéficient également non seulement de gains de productivité horaire du travail plus élevés que les non utilisateurs, mais également d'une accélération de ces gains. Il faut aussi déterminer si les gains de productivité du travail dans les secteurs utilisateurs s'expliquent uniquement par l'augmentation de l'intensité capitalistique, ou si des gains de PGF peuvent également être détectés. Si tel est le cas, cela signifie qu'il y a diffusion des effets favorables des TIC (encadré 1), qui se retrouvent au niveau macroéconomique lorsque l'utilisation d'équipements intégrant ces TIC est suffisamment répandue, conformément au processus de diffusion défini par Helpman et Trajtenberg (1994).

De nombreuses études ont tenté de répondre à ces questions. Leurs conclusions ont évolué en même temps que les comptes nationaux américains se développaient pour mieux prendre en compte le développement des TIC. En particulier, un des changements majeurs lié à la dernière révision quinquennale est le traitement des achats de logiciels comme investissement et non plus comme consommation intermédiaire, ce qui a automatiquement gonflé le PIB et donc la productivité²¹. D'où l'intérêt et l'importance de travailler sur les chiffres les plus récents. Selon les études américaines les plus récentes, l'accélération des gains de productivité horaire du travail semble durable, soutenue par un processus de diffusion des TIC. Non seulement les secteurs utilisateurs de TIC bénéficieraient d'une accélération des gains de productivité horaire du travail, mais aussi l'accélération de la croissance de la PGF ne serait pas limitée aux seuls secteurs producteurs.

21. Pour plus de détails sur cette révision, voir les numéros d'août à novembre 1999 du *Survey of Current Business*. Pour plus de détails sur l'évolution des comptes nationaux américains, voir par exemple les articles de Moulton (1999) et Landefeld et Fraumeni (2000).

1. Processus de diffusion-type

La diffusion implique que des secteurs, autres que les secteurs producteurs du nouveau bien, intensifient leur usage de ce bien nouveau, ce qui génère mécaniquement des gains de productivité du travail par augmentation de l'intensité capitalistique, et aussi des gains de PGF du fait de la réduction des coûts de production, des coûts de transaction et de traitement de l'information, et de l'amélioration des pratiques de travail. L'enchaînement-type serait le suivant :

- gains de productivité du travail et globale dans les secteurs producteurs d'ordinateurs et de semi-conducteurs ;
- baisse du prix de ces équipements, véritable point de départ du processus de diffusion conformément aux « externalités pécuniaires » définies par Greenwood et Jovanovic (1998) ;
- investissements dans ces équipements ;
- mise en place de réseaux de communication grâce à ces investissements ;
- accroissement de l'utilité de ces investissements par la mise en place de l'internet ;
- effets positifs sur les coûts pour les entreprises appartenant à ce réseau, utilisant ces technologies ;
- investissements et réorganisations des autres entreprises qui s'aperçoivent de l'avantage à appartenir à un tel réseau ;
- développement de nouveaux produits (plus puissants) pour répondre aux nouveaux besoins générés par ces investissements, la réorganisation, par la mise en réseaux des systèmes informatiques ;
- progrès technique chez les producteurs et les utilisateurs, baisse de prix, investissements, etc.

Une telle diffusion incite à placer les TIC au même rang que les innovations génériques précédentes. Elle permet également d'envisager qu'un pays non producteur de TIC puisse s'engager, comme les États-Unis, dans un cycle de croissance vertueuse. La question du processus de diffusion des TIC des secteurs producteurs vers les secteurs utilisateurs est à ces égards un vrai débat économique, bien que, sur le plan empirique, sa pertinence soit en partie entachée par l'imperfection des outils statistiques disponibles.

Nous allons maintenant revenir plus en détail sur les résultats principaux des différentes études américaines, en les regroupant en trois types : les résultats en termes d'accélération des gains de productivité horaire du travail ; les résultats en termes d'accélération des gains de PGF ; les études sectorielles et la distinction secteurs utilisateurs / secteurs non utilisateurs de TIC. Il existe également une importante littérature, à partir de données d'entreprises, reliant impact des TIC sur la productivité et changements organisationnels : elle est présentée plus loin.

La contribution des TIC à l'accélération des gains de productivité horaire du travail

Si l'on s'en tient au débat statistique sur la « nouvelle économie », à savoir la contribution des TIC à l'accélération des gains de productivité du travail, deux camps sont aisément identifiables. Les sceptiques sont représentés par Robert Gordon de la Northwestern University, alors que les optimistes se sont regroupés autour des résultats de deux économistes de la Banque centrale américaine, Steve Oliner et Daniel Sichel. La large publicité qui a été faite à ces études mérite que l'on y revienne un peu plus en détail.

Gordon (1999, 2000) a une approche très particulière de la question, qui implique de trouver nécessairement une faible accélération des gains de productivité horaire du travail dans le secteur privé non agricole depuis 1995 par rapport à la tendance de 1972-1995²². Il corrige en effet les gains récents non seulement du cycle (0,54 point), mais également de changements intervenus sur la mesure de l'inflation (0,14 point) et de l'amélioration de la qualité du facteur travail (0,05 point). Sachant que la tendance récente (1995:4-1999:4) des gains de productivité horaire du travail est de 2,82 % par an et la tendance de long terme (1972:2-1995:4) de 1,47 %, l'accélération des gains de productivité horaire du travail est de seulement 0,62 point ($0,62 = ((2,82 - 0,54) - 1,47) - 0,14 - 0,05$), contre un chiffre habituellement cité de plus d'un point. Il décompose cette accélération en une augmentation de l'intensité capitalistique, qui contribue à hauteur de 0,33 point, et une accélération de la PGF. Son originalité est de dire que cette accélération de la PGF s'explique uniquement par les gains de PGF dans le secteur producteur d'ordinateurs et de semi-conducteurs intégrés aux ordinateurs : la contribution est évaluée à 0,29 point. En dehors même des 12 % de l'économie que représente le secteur des biens durables manufacturiers auquel appartiennent les producteurs d'ordinateurs, il n'y aurait aucun effet des ordinateurs sur la croissance de la productivité globale des secteurs utilisateurs. Les 88 % restants de l'économie sont confrontés à une décélération structurelle de leurs gains de PGF, et à une accélération très réduite de 0,24 point des gains de productivité horaire du travail. D'où son diagnostic d'absence de diffusion et son scepticisme à l'égard de la « nouvelle économie ».

22. Pour des questions de disponibilité de données, l'article de 1999 ne parle que de productivité du travail, et est donc assez pauvre en terme de problématique du processus de diffusion, contrairement à l'article de 2000. De plus, la conclusion principale de 1999 selon laquelle l'accélération des gains de productivité horaire du travail (alors évaluée à + 0,3 point) était essentiellement due aux gains de PGF dans le secteur producteur d'ordinateurs (ne laissant aucune place à une quelconque augmentation de l'intensité capitalistique) ne tient plus aujourd'hui, grâce à la révision des comptes nationaux de novembre 1999. L'accélération plus importante qui ressort des données les plus récentes (environ + 0,6 point) permet donc de mettre en évidence une action combinée des TIC sur l'intensité capitalistique et la PGF.

Sur le plan sémantique, notre définition de la diffusion diffère de celle de Gordon. Nous parlons de diffusion dès lors qu'il y a augmentation de l'intensité capitalistique liée à l'utilisation croissante des TIC, alors que Gordon parle à ce sujet uniquement d'un « effet direct », gardant le terme de diffusion pour l'effet des TIC sur la PGF des secteurs utilisateurs. Son langage est cohérent avec l'utilisation d'une fonction de production Cobb-Douglas où, mathématiquement, les externalités positives des TIC sont capturées par le terme de PGF (c'est-à-dire le progrès technique non incorporé). Mais, sur un plan plus qualitatif d'appréciation du phénomène de diffusion, l'accélération des gains de PGF peut être raisonnablement considérée plutôt comme une seconde étape dans le processus de diffusion que comme une condition nécessaire et suffisante, compte tenu des délais de diffusion et d'apprentissage.

4. Comparaison de différentes évaluations de la contribution des TIC à l'accélération des gains de productivité horaire du travail *

En points

	Oliner et Sichel	Jorgenson et Stiroh	Gordon	Council of Economic Advisers	Whelan	CBO
Accélération des gains de productivité (1), dont :	1,05	1,00	1,35	1,47	0,99	1,10
<i>Augmentation de l'intensité capitalistique</i>	<i>0,49</i>	<i>0,49</i>	<i>0,33</i>	<i>0,47</i>	<i>n.d</i>	<i>0,40</i>
- Due à l'utilisation des TIC (a)	0,46	0,31	0,33	0,47	0,46	0,40
- Autre	0,04	0,18	0,0	0,0	n.d	n.d
<i>Amélioration de la qualité du facteur travail</i>	<i>- 0,13</i>	<i>- 0,12</i>	<i>0,05</i>	<i>0,05</i>	<i>n.d</i>	<i>n.d</i>
<i>Augmentation des gains de PGF</i>	<i>0,69</i>	<i>0,63</i>	<i>0,29</i>	<i>0,93</i>	<i>n.d</i>	<i>n.d</i>
- Chez les producteurs de TIC (b)	0,26	0,19	0,29	0,23	0,27	0,20
- Dans les autres secteurs	0,43	0,44	0,0	0,70	n.d	n.d
Contribution totale des TIC (2) = (a + b)	0,72	0,50	0,62	0,70	0,73	0,60
Part de l'accélération des gains due aux TIC (3) = [(2) / (1)]*100	68,6%	50,0%	45,9%	47,6%	73,7%	54,5%

* Les résultats ne sont pas parfaitement comparables du fait des différences de données, de méthodes et de champs. Chaque étude porte sur des périodes différentes :

- Oliner et Sichel comparent 1991-1995 à 1996-1999 ;
- Jorgenson et Stiroh comparent 1990-1995 à 1995-1998 ;
- Gordon compare 1972-1995 à 1995-1999 ;
- Le Council of Economic Advisers compare 1973-1995 à 1995-1999 ;
- Whelan compare 1974-1995 à 1996-1998 ;
- Le CBO compare 1974-1999 à 1996-1999.

En revanche, afin de faciliter la comparaison, l'accélération des gains de productivité du travail calculée par Gordon n'est pas corrigée des effets du cycle, ni des changements intervenus sur l'inflation, contrairement à ce que fait l'auteur dans ses travaux.

Les différences viennent des arrondis.

Sources : US Department of Commerce (2000), Gordon (2000), Oliner et Sichel (2000), Jorgenson et Stiroh (2000), Council of Economic Advisers (2000), Whelan (2000).

De nombreuses études ont une telle approche, moins restrictive, du processus de diffusion, d'où une tonalité plus optimiste des conclusions (Oliner et Sichel, 2000 ; Jorgenson et Stiroh, 2000 ; CBO, 2000 ; *Council of Economic Advisers*, 2000 ; ou encore Whelan, 2000). L'ensemble de ces travaux met en évidence que l'accélération des gains de productivité horaire du travail, soit au cours de la deuxième moitié des années 1990 (plus 1 point environ), soit par rapport à une tendance de long terme (plus 1,4 point environ), est due à hauteur de la moitié voire des deux tiers à l'augmentation de l'intensité capitaliste liée à l'utilisation des TIC et aux progrès techniques réalisés par les producteurs (tableau 4). De manière assez étonnante, les résultats de Gordon sont dans le consensus.

Ampleur et nature de la rupture de tendance des gains de productivité globale des facteurs

Certaines de ces études 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, 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 démontre Gordon (tableau 5). S'il est certain que les gains de PGF engrangés par les secteurs producteurs 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.

En ce qui concerne les secteurs producteurs d'ordinateurs, leurs gains élevés de PGF viennent pour une bonne part de la miniaturisation et de l'intégration des circuits qui permettent de réduire considérablement le nombre des opérations d'assemblage. Ce sont donc en fait surtout les progrès techniques réalisés au niveau des semi-conducteurs qui contribuent à la croissance de la PGF. Oliner et Sichel évaluent à 0,41 point cette contribution sur la période 1996-1999²³, alors que celle des ordinateurs est estimée à 0,22. De même, la contribution à l'accélération des gains de PGF est plus importante (respectivement + 0,18 et + 0,9 point par an). Ces fortes contributions ne font que refléter l'accélération de la baisse du prix des ordinateurs de 15,8 % en moyenne entre 1972 et 1995 à 32 % entre 1995 et 1999. Elles sont surtout remarquables eu égard au faible poids de ces secteurs dans l'économie.

²³. Oliner et Sichel supposent que 60 % de la production de semi-conducteurs est intégrée aux ordinateurs. Le chiffre de 0,47 du tableau 5 est donc la somme de $0,60 \times 0,41 + 0,22$.

5. Décomposition des gains de productivité globale des facteurs

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

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.

En revanche, en ce qui concerne les secteurs non producteurs, un calcul très approximatif d'Oliner et Sichel montre par exemple que l'impact du développement du commerce électronique sur les gains de PGF serait encore largement inférieur à 0,1 point par an entre 1996 et 1999. Non seulement les données empiriques, sur lesquelles nous revenons dans la section suivante, ne permettent pas de mettre en évidence un impact net des TIC sur la PGF des secteurs utilisateurs, mais surtout les résultats obtenus, en termes de localisation des gains entre secteurs producteurs et autres secteurs, sont sensibles à la méthode retenue pour le partage volume-prix de la valeur de l'investissement (encadré 2).

En fait, comme le soulignent Cette et *alii* (2000a), bien que l'accélération de la PGF soit concomitante à 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, 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 6.

6. 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.

2. Le partage volume-prix de la valeur de l'investissement *

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 la valeur des produits auxquels on s'intéresse (par exemple les micro-ordinateurs) sur un ensemble de caractéristiques techniques (mémoire, poids, vitesse...). La méthode d'appariement (*matched method*) 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.

* Cet encadré reprend les définitions de Cette et *alii* (2000a).

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 se situent surtout dans le secteur producteur S1 ; le secteur S2 ne fait aucun gain de PGF, mais réalise 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. 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 ou d'appariement, une interprétation correcte de la localisation des gains de PGF est impossible. Les résultats du tableau 5, mais aussi ceux présentés dans la section ci-dessous, doivent donc à cet égard être interprétés avec beaucoup de circonspection. 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 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 5, 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 de « prix mesurés 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, ce qui est positif.

Les études sectorielles

Les études sectorielles permettent d'analyser au niveau désagrégé des branches, l'évolution de la productivité du travail (McGuckin et Stiroh, 1998 ; *US Department of Commerce*, 1999 ; Lahidji, 2000) et de la productivité globale (Stiroh, 1998 ; Jorgenson et Stiroh, 2000). Ces données permettent de distinguer explicitement les secteurs producteurs des secteurs utilisateurs et non utilisateurs de TIC dans les secteurs manufacturier et non manufacturier, l'idée principale étant de montrer que les

gains de productivité du travail et de PGF sont plus élevés chez les utilisateurs que chez les non utilisateurs. Si la démonstration est nette au sein du secteur manufacturier, elle l'est beaucoup moins au sein du secteur des services, se heurtant à la mauvaise qualité des statistiques de production en volume de certaines branches²⁴.

Selon les chiffres du Département du commerce américain, les gains de productivité horaire du travail chez les utilisateurs du secteur manufacturier ont été en moyenne de 2,4 % par an sur 1990-1997, contre 1,3 % chez les non utilisateurs. Cet écart n'apparaît pas au sein du secteur des services : les utilisateurs affichent en effet des pertes moyennes de - 0,3 % par an alors que les non utilisateurs affichent des gains de 1,3 % par an. Cherchant à corriger ce résultat en excluant de son calcul dix branches notoirement difficiles à mesurer, le Département du commerce aboutit à des gains de productivité de 1,6 % par an pour les secteurs utilisateurs et de 1,4 % pour les non utilisateurs. Les travaux de McGuckin et Stiroh proposent, en plus, une analyse sur plusieurs périodes. D'une part, l'accélération des gains de productivité horaire du travail depuis le début des années 1990 dans les secteurs utilisateurs du secteur manufacturier est importante (graphique 2) ; pour les secteurs utilisateurs du secteur non manufacturier, cette accélération est moins frappante. D'autre part, l'écart de gains de productivité entre les secteurs non utilisateurs et utilisateurs du secteur manufacturier s'est renversé au cours du temps et s'est fortement creusé au cours de la décennie 1990 ; cette différence de rythme de croissance de la productivité n'apparaît pas dans le secteur non manufacturier.

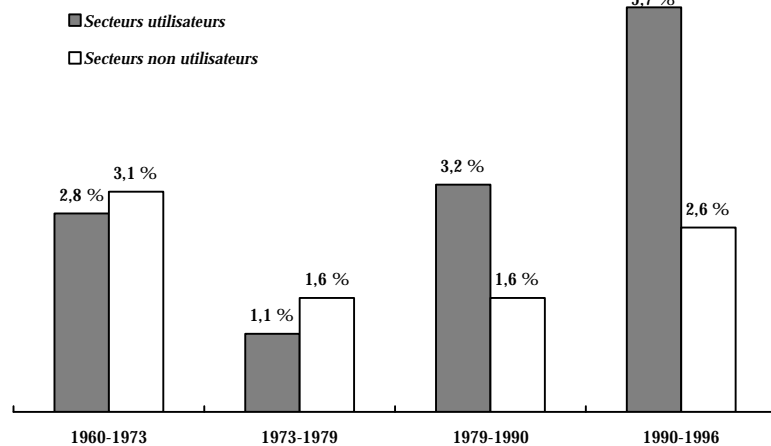
Bien qu'allant dans le sens de la démonstration (les TIC génèrent des gains de productivité chez les utilisateurs), ces résultats présentent deux biais. Le premier est que parmi les utilisateurs du secteur manufacturier, on trouve les deux branches « équipements et machines industriels » (qui comprend les producteurs d'ordinateurs) et « équipements électriques et électroniques » (qui comprend les producteurs de semi-conducteurs et d'équipements de télécommunications). Grandes utilisatrices des technologies qu'elles produisent, il est logique que ces branches appartiennent à cette catégorie, mais cela tire automatiquement les gains vers le haut. Les données les plus récentes indiquent par exemple des gains moyens par an de 8 % pour la branche « équipements et machines industriels » et de 11,5 % pour la branche « équipements électriques et électroniques » sur 1990-1998. Le second défaut vient de la distinction secteurs utilisateurs / secteurs non utilisateurs. Les différences de résultats avec le Département du commerce, pour des catégories *a priori* comparables, l'illustrent bien. Les classifications révèlent un certain arbitraire des critères (annexe III).

24. 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 les problèmes de mesure se sont accrues au cours du temps à cause de la diffusion des TIC. Pour une analyse synthétique de ces questions et une quantification, on pourra se référer à McGuckin et Stiroh (1999).

2. Gains de productivité du travail dans les secteurs utilisateurs et non utilisateurs d'informatique de bureau aux États-Unis *

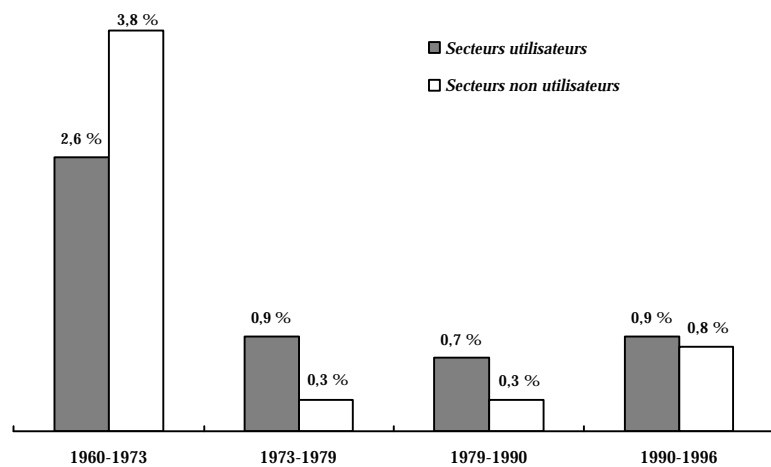
Secteur manufacturier

Taux de croissance annuel moyen, en %



Secteur non manufacturier

Taux de croissance annuel moyen, en %



* Les cinq secteurs utilisateurs du secteur manufacturier sont : équipements et machines industriels, équipements électriques et électroniques, imprimerie et presse, instruments de mesure, verre et matériaux de construction. Les trois secteurs utilisateurs du secteur non manufacturier sont : commerce, finance-assurance-immobilier, services.

Source : McGuckin & Stiroh (1998).

Jorgenson et Stiroh (2000) ont également adopté une démarche sectorielle pour déterminer dans quelle mesure l'accélération des gains de PGF dans les secteurs autres que producteurs tient aux TIC. D'après leurs données (qui n'intègrent pas la dernière révision des comptes américains), les gains de PGF, sur l'ensemble de la période 1958-1996, sont plus élevés chez les secteurs utilisateurs du secteur manufacturier et du secteur des services que chez les non utilisateurs. Mais cela masque une diversité des performances. En effet, les branches « finance, assurance et immobilier » et « services » affichent des pertes de PGF de - 0,2 % par an. Ce sont deux secteurs réputés pour les problèmes de mesure de leur production. La branche « commerce », également grande utilisatrice, affiche, elle, des gains de PGF de l'ordre de 1 % par an. Et compte tenu de son poids important, c'est elle qui contribue le plus aux gains de PGF (0,19 point de pourcentage sur 0,48 %), et symétriquement, c'est la branche « services » qui a la contribution la plus négative (environ - 0,07 point). Dans le secteur manufacturier, si les branches « instruments de mesure » et « verre et matériaux de construction » affichent bien des gains de PGF (de respectivement 1,1 et 0,4 % par an), la branche « imprimerie et presse » affiche des pertes (- 0,4 % par an). Dans les branches « équipements et machines industriels » et « équipements électriques et électroniques », les gains sont respectivement de 1,5 et 2 %.

Néanmoins, toutes les branches utilisatrices du secteur manufacturier pour lesquelles on dispose des données les plus récentes, ont connu une accélération de leurs gains de PGF (ou de moindres pertes) entre la première et la deuxième moitié des années 1990. En l'absence de chiffres récents pour le secteur des services, on ne peut dire si un tel mouvement est aussi visible pour les utilisateurs appartenant à ce secteur. Au bout du compte, trop d'éléments se compensent (certaines branches font certes des gains mais d'autres affichent des pertes importantes). L'ensemble de ces données ne permet pas d'avoir un diagnostic favorable 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 que ceux soulevés plus haut en termes de convention comptable, la possibilité que l'impact des TIC sur les gains de PGF n'aille pas au-delà de ceux générés par le seul secteur producteur de TIC restera envisageable.

La durabilité de l'accélération des gains de productivité horaire du travail repose sur la poursuite de l'effort d'investissement et des gains de PGF. L'effort d'investissement est soumis en partie aux aléas de la conjoncture. La forte progression récente de la contribution des TIC à la croissance résulte de l'interaction entre une économie dynamique et des possibilités d'investissement ouvertes par la convergence entre les technologies des télécommunications et de l'ordinateur. Mais le développement

attendu du commerce électronique et de l'Internet devrait continuer à stimuler la contribution des TIC à la croissance. La croissance de la PGF est soumise en partie à la durée de validité de la loi de Moore²⁵ qui sous-tend la forte baisse du prix des ordinateurs. Celle-ci viendrait à être moins rapide, et un élément essentiel du processus de diffusion disparaîtrait ou en tout cas jouerait moins. Néanmoins, si les innovations récentes sont des innovations génériques, il n'est pas déraisonnable de rester confiant à cet égard (une solution sera bien trouvée à l'expiration de la loi de Moore). D'autre part, abstraction faite des doutes que font peser les problèmes de mesure, la maturation de la deuxième étape du processus de diffusion (impact des TIC sur la PGF des secteurs utilisateurs) devrait également soutenir la croissance de la PGF dans l'ensemble de l'économie. Si des gains de productivité horaire du travail de l'ordre de 7 % en rythme annualisé, comme au deuxième trimestre 2000, ne sont bien sûr pas durables, une tendance de 2,5 % par an peut assez facilement être envisagée. Le cycle de croissance ne semble donc pas être menacé de ce côté-là.

L'existence d'une accélération des gains de productivité du travail et de PGF issue de l'utilisation des TIC permet d'envisager que des pays non producteurs puissent également tirer parti des avantages des TIC. Bien sûr, alors que ces technologies sont disponibles à l'échelle mondiale, l'absence actuelle de signes d'accélération de la croissance de la productivité dans de nombreux pays industrialisés fait douter de cette possibilité. Mais selon la théorie du commerce international, un pays qui produit moins de biens technologiques peut en bénéficier tout autant que le pays producteur, si certaines conditions se trouvent remplies. Il faut que le pays producteur rétrocède effectivement au pays utilisateur une partie des gains de productivité obtenus dans la production des nouveaux biens et services, et, en outre, que le pays utilisateur mette en œuvre ces technologies dans les autres secteurs aussi efficacement que le pays producteur. Ensuite, dans la mesure où la divergence des performances est pour une part une question de retard technologique, la poursuite de la diffusion de ces technologies devrait soutenir à terme la croissance de la productivité dans ces pays²⁶. Enfin, bien que les États-Unis aient un avantage décisif en tant que pays pionnier. Il y a aussi certains avantages à être « suiveur » plutôt que « leader » ou « first-mover ». Il est moins coûteux d'investir demain qu'hier du fait de la baisse du prix des équipements. On n'investit que dans ce qui marche. De plus, les réductions de coûts sont potentiellement très importantes compte tenu des rigidités des marchés européens et japonais : par exemple, plus la chaîne de distribution est longue, comme au Japon, plus les gains attendus du commerce électronique sont élevés. Comme le souligne le rapport du CAE (2000), l'important est de « savoir se servir »

25. Doublement de la puissance des microprocesseurs tous les 18 mois, jusqu'à ce que la limite physique du milliard de transistors par circuit soit atteinte (soit vers 2010).

26. Gust et Marquez (2000).

de ces technologies. Et même si leur utilisation est vraisemblablement d'autant mieux réfléchi que le pays a une grande connaissance de ces technologies en tant que producteur, il n'y a pas de raison objective pour que les autres pays n'y parviennent pas.

Les TIC ont-elles un impact favorable sur la productivité en France ?

Le rapport du Commissariat général du Plan consacré en 1999 au thème « Technologies de l'information, organisation et performances économiques » fait la synthèse d'un certain nombre de tests économétriques concernant l'impact des TIC sur la productivité, et en tire la conclusion suivante : « *Ces résultats obtenus en coupe sur données individuelles d'entreprises lèvent une partie du paradoxe de la productivité [...]. Les entreprises plus intensément utilisatrices d'informatique ne sont pas pénalisées par rapport aux autres en termes de productivité. Tout au contraire, elles semblent en tirer profit. Cependant, les études sur données sectorielles ou macroéconomiques, contrairement aux approches microéconomiques, concluent en général à l'absence d'effet des TIC sur la productivité, et parfois mettent en évidence un effet négatif* ».

Le fait de ne pas encore détecter un impact favorable sur l'évolution de la productivité au niveau agrégé ne doit pas être considéré comme une preuve de l'absence d'effet des TIC, si leur diffusion ne concerne encore qu'un nombre limité d'entreprises, ou si ces entreprises n'ont pas encore un poids suffisant dans l'économie. On sait, en effet, que malgré la montée des investissements en TIC, le stock de biens d'équipement de nouvelles technologies représente encore une part relativement faible du capital total. C'est à cause de ce constat que la recherche empirique s'est orientée vers des évaluations économétriques utilisant des données désagrégées individuelles. Cependant, si ce constat devait rester définitif, il faudrait en conclure qu'il n'y a pas eu de diffusion de l'impact favorable des TIC et que les bons résultats obtenus sur données individuelles sont dus à un biais d'endogénéité : les entreprises les plus performantes s'équipent en TIC parce qu'elles ont des profits à réinvestir ; la causalité va donc de la productivité vers l'informatisation plutôt que dans le sens inverse. Seule une causalité allant de l'informatisation vers la productivité obtenue à un niveau sectoriel ou macroéconomique permettrait d'affirmer qu'il y a bien un processus de diffusion en cours.

Nous discutons tout d'abord brièvement les résultats d'études récentes qui semblent ouvrir des voies de recherche prometteuses ; nous effectuons ensuite une étude économétrique de l'impact des TIC et des changements organisationnels sur la productivité. Notre étude utilise des données sectorielles plutôt qu'individuelles, de manière à évaluer si un commencement de diffusion est, ou non, à l'œuvre.

Résultats de quelques études récentes sur données désagrégées

Les études sur données désagrégées conduites aux États-Unis ont produit des résultats en fin de compte assez ambivalents. Lichtenberg (1995), Lehr et Lichtenberg (1999) ont réussi à mettre en évidence un impact favorable de l'équipement en informatique sur la productivité, en estimant des fonctions de production Cobb-Douglas distinguant le capital non informatique du capital informatique, sur des données individuelles d'entreprises. Steindel (1992) était parvenu à un résultat similaire en estimant le même type d'équations sur des données sectorielles. Par contre, Berndt et Morrison (1995) montrent, toujours à partir de données sectorielles, que l'équipement en informatique de bureau est négativement corrélé à la productivité du travail dans l'industrie manufacturière. De manière similaire, Askenazy (2000) trouve que l'informatisation a un impact négatif sur les performances des firmes lorsqu'elle n'est pas complétée par des changements organisationnels, dans une étude effectuée à partir de données sectorielles très désagrégées. De même, Brynjolfsson et Hitt (1995) reprennent les données utilisées dans le travail de Lichtenberg (1995) en utilisant cette fois une spécification *Translog* pour la fonction de production : ils démontrent alors que des effets individuels spécifiques aux firmes expliquent la plus grande partie de l'impact favorable précédemment attribué aux ordinateurs.

Dans le cas de la France, Greenan et Mairesse (1996) étudient l'impact sur la productivité d'un taux d'équipement en informatique mesuré grâce à des données de sondages sur l'utilisation d'un ordinateur par les salariés²⁷. Greenan et Mairesse trouvent que le coefficient reliant le taux d'équipement informatique au logarithme de la productivité du travail est de 1,15. Une fois prise en compte l'intensité capitaliste, il n'est plus cependant que de 0,80, et il devient non significativement différent de zéro lorsque la qualité de la main-d'œuvre est prise en compte. Ce résultat peut cependant provenir d'une mauvaise mesure de la qualité de la main-d'œuvre, car c'est le salaire moyen observé qui est utilisé comme indicateur de celle-ci. Il peut provenir aussi du fait que les données d'entreprises utilisées pour calculer la productivité sont des données en valeur : cela produit une sous-estimation de la productivité réelle des firmes si les gains de productivité sont répercutés en baisses de prix. Greenan (1996) montre de la même façon que les entreprises technologiquement innovantes ne bénéficient pas d'une croissance significativement plus élevée de leur productivité globale des facteurs. Néanmoins ces résultats peuvent, là encore, provenir de données

27. Ces sondages sont effectués par le ministère du Travail dans les enquêtes « Techniques et organisation du travail » (TOTTO) et « conditions de travail ». Leurs données individuelles concernant les performances des firmes sont obtenues par appariement avec les séries contenues dans la base de données sur les entreprises de l'INSEE (SUSE, Système Unifié de Statistiques d'Entreprise). Cette méthodologie permet de travailler avec un nombre élevé d'observations.

comptables exprimées en valeur (données issues des déclarations de Bénéficiaires Industriels et Commerciaux, BIC). En outre, l'enquête « Changement organisationnel » de 1993 qui est utilisée dans cette étude ne donne qu'une vision très lacunaire des innovations technologiques en cours : elle ne quantifie en effet que l'utilisation des robots ou machines-outils à commande numérique. L'impact de l'usage des TIC n'est donc pas évalué.

Comme on l'a vu dans les développements des sections précédentes concernant les phénomènes de destruction créatrice, les délais d'apprentissage et les problèmes de mesure de la contribution des TIC, il se peut très bien qu'un impact favorable des TIC sur la productivité ne puisse pas être mis en évidence empiriquement dans les premiers temps du processus de diffusion. Cette prévision issue des modèles de *General Purpose Technologies* commence à bénéficier de quelques validations empiriques. Brynjolfsson et Hitt (1998) ont utilisé la base de données du magazine *Fortune* sur les 1000 premières firmes des États-Unis et montré ainsi que les gains de productivité les plus forts sont obtenus lorsque l'informatisation est combinée avec une organisation de la production en équipes autonomes. Bresnahan, Brynjolfsson et Hitt (1999) complètent ce résultat en montrant que la valeur des investissements en TIC est accrue lorsqu'ils sont associés à un accroissement de la qualification des salariés, une culture générale plus élevée et une plus forte délégation de la prise de décision au sein de l'entreprise.

Askenazy (2000) utilise quant à lui des données sur la fréquence des accidents du travail aux États-Unis, pour construire un taux d'accidents (nombre d'accidents pour 100 salariés) à un niveau sectoriel désagrégé (« 4-digit » de la comptabilité nationale américaine). Cet indicateur est mis en relation avec un indicateur de réorganisation construit, à un niveau plus agrégé, à partir de différentes données d'enquêtes sur l'adoption de nouvelles normes d'organisation du travail : il existe une corrélation positive significative entre l'indicateur de réorganisation et le taux de croissance du taux d'accidents du travail. Cette corrélation permet à l'auteur d'utiliser le taux d'accidents du travail comme indicateur de réorganisation (« réorganisation à chocs d'accident ») : il peut ainsi étudier le lien entre productivité et réorganisation à un niveau sectoriel très désagrégé, malgré l'absence de données sur la réorganisation à ce niveau. Une année de réorganisation est définie comme une année où le taux d'accidents s'accroît fortement et durablement. L'indicateur d'informatisation est l'investissement en informatique de l'année 1992 divisé par la production. Le taux de croissance moyen de la productivité globale des facteurs entre 1983 et 1994 est régressé sur ce proxy du taux d'équipement informatique, pour les firmes réorganisées et les firmes non réorganisées. Askenazy montre ainsi que l'informatique n'accroît la productivité que pour les firmes réorganisées. Il montre aussi que la décision de réorganiser le travail est indépendante

des choix des entreprises en matière d'équipement informatique. La robustesse de ce résultat est renforcée par la très haute fréquence des données utilisées, mais l'on peut cependant s'interroger sur la pertinence de l'indicateur de réorganisation choisi.

En effet, considérer la croissance du taux d'accidents du travail comme un indicateur de réorganisation pose plusieurs problèmes : tout d'abord, cet indicateur est probablement très corrélé avec le dynamisme de la demande adressée aux différents secteurs industriels considérés. Sur une période de dix ans, il est possible que certains secteurs aient connu des tensions sur leurs capacités productives durablement supérieures à leur moyenne de plus longue période. Cette utilisation plus intensive des facteurs peut conduire à une croissance de la PGF plus élevée sur la période ainsi qu'à une plus forte croissance des accidents du travail, même si ces firmes n'ont pas réorganisé le travail. L'utilisation d'un indicateur direct de la réorganisation couplé à un indicateur de tensions sur les capacités permettrait de vérifier que ce n'est pas le cas. De manière plus fondamentale encore, on peut craindre que l'utilisation d'un indicateur de réorganisation trop indirect et trop synthétique ne conduise à une certaine circularité dans le raisonnement : s'il reflète un trop grand ensemble de changements organisationnels, il ne fait qu'exprimer l'usage des divers moyens dont les managers disposent pour intensifier l'usage du travail et du capital. On en vient alors à expliquer la productivité par un indicateur non conjoncturel de l'intensité d'utilisation des facteurs de production, ce qui revient à expliquer la productivité par la productivité. Ces réserves ne mettent cependant pas en cause la validité de cette approche, qui est largement corroborée par d'autres travaux du même type. Il reste néanmoins difficile de déterminer si l'impact positif des TIC dans les secteurs réorganisés est le résultat d'une plus grande exploitation de la main-d'œuvre, ou d'une meilleure organisation du travail, ou encore de l'efficacité intrinsèque des TIC.

A notre connaissance, aucun résultat concernant le lien entre l'impact des TIC et l'organisation du travail n'a encore été produit à partir de données françaises. Un certain nombre d'études suggèrent pourtant que les entreprises françaises sont entrées dans une phase d'intense modification de leur organisation du travail. Coutrot (2000) montre ainsi, en utilisant l'enquête REPONSE²⁸, que les pratiques cherchant à accroître l'implication des salariés dans l'effort productif tendent à se généraliser à la fois dans l'industrie et les services. Ces pratiques sont proches de celles qui se sont généralisées aux États-Unis. Celles qui ont le plus progressé entre 1992 et 1998 sont « les groupes ou cercles de qualité », les « groupes de projets », les « normes ISO » et l'organisation « juste à temps ». Par contre, les pratiques visant à remodeler les frontières de l'entreprise (sous-traitance, recentrage sur les métiers spécifiques) ont

28. « Relations Professionnelles et Négociations d'Entreprise ».

cessé de progresser, de même que celles cherchant à favoriser l'expression des salariés. En outre, il existe aussi des preuves très convaincantes de la forte interdépendance entre l'innovation technologique et les changements organisationnels qui sont actuellement en cours dans l'industrie manufacturière française (Greenan, 1996).

Une évaluation économétrique à partir de l'enquête « Changements Organisationnels et Informatisation »

L'utilisation de données individuelles d'entreprise constitue évidemment un apport pour étudier les déterminants de la productivité. Néanmoins, il est tout aussi important de pouvoir mesurer la productivité grâce à des données en volume, ce qui n'est pas possible si l'on utilise les données sur les performances individuelles issues des déclarations de Bénéfices Industriels et Commerciaux. C'est pourquoi il nous a semblé intéressant d'utiliser les séries de valeur ajoutée et d'investissement *en volume* disponibles dans la comptabilité nationale française à un niveau sectoriel relativement fin (le niveau G de la nomenclature TES qui regroupe 114 secteurs d'activité).

En ce qui concerne les données sur l'organisation du travail et l'usage des TIC, deux enquêtes récentes sont, à notre connaissance, disponibles : l'enquête REPONSE de la DARES et l'enquête COI du SESSI (Changements Organisationnels et Informatisation). La seconde porte sur les entreprises de plus de 20 salariés de l'industrie manufacturière, tandis que la première couvre tous les établissements de 20 salariés ou plus. Mais l'enquête COI fournit des indicateurs plus détaillés en ce qui concerne l'organisation du travail et l'usage des TIC. Les questions posées concernent en effet une plus large palette de dispositifs organisationnels et une plus large gamme d'usages possibles de l'informatique. C'est pourquoi nous avons préféré utiliser l'enquête COI. L'usage de ce type d'enquêtes nous semble être un bon moyen de dépasser les difficultés éprouvées par la comptabilité nationale dans l'appréhension de la diffusion et de la contribution des TIC. On obtient ainsi une mesure indirecte de la diffusion du capital informatique qui semble beaucoup moins instable que les évaluations directes, comme en témoigne la convergence des résultats des deux enquêtes REPONSE et COI dans leurs évaluations des taux d'équipement.

Au total, ces choix nous permettent de tester une équation de productivité sur 51 secteurs manufacturiers pour les deux années sur lesquelles porte l'enquête COI, 1994 et 1997. La spécification générale de cette équation est :

$$\left(\frac{VA}{L}\right)_{it} = A(proxy_tu_{it}, ordi_{it}, orga_{it}) \cdot \left(\frac{K}{L}\right)_{it}^{\alpha}$$

3. Définition des séries utilisées

Les variables précédées d'un L(.) sont en logarithme.

VA/L : productivité du travail en niveau en 1994 et 1997

= valeur ajoutée en volume / emploi en équivalent temps plein

proxy_tu : tension sur les capacités en 1994 et 1997

= taux de croissance de la valeur ajoutée – taux de croissance moyen de la valeur ajoutée entre 1992 et 1998

KL15=K/L : intensité capitalistique en 1994 et 1997

= approximation du stock de capital sous l'hypothèse d'un taux de dépréciation de 15 % / emploi en équivalent temps plein

ordi : indicateurs d'usage des TIC. Trois indicateurs différents ont été testés :

1. int : usage de l'Internet en 1997

= pourcentage d'entreprises du secteur déclarant utiliser l'Internet pour au moins un des trois usages proposés dans l'enquête COI

2. tr_info : usage de l'informatique pour transférer des données en 1994 et 1997

= pourcentage d'entreprises du secteur déclarant utiliser une interface informatique pour au moins un des types de transferts de données proposés dans l'enquête COI

3. eq : équipement en informatique en 1994 et 1997

= pourcentage de firmes du secteur *i* déclarant dans l'enquête COI disposer d'au moins un type d'équipement informatique dans leurs services de gestion *et* de production

orga : indicateurs relatifs à l'organisation. Deux indicateurs sont apparus comme significatifs :

1. cprof : indicateur relatif à l'organisation en centres de profit

= pourcentage d'entreprises du secteur déclarant utiliser une organisation en centres de profits dans l'enquête COI

2. cadre_env : indicateur de conditions de travail

= pourcentage d'établissements déclarant disposer d'un cadre à temps plein pour les fonctions environnement, hygiène et sécurité

prod1 : usage de l'internet dans les secteurs « fortement réorganisés »

= 1x int si *au moins* 25 % des entreprises du secteur ont adopté une organisation en centres de profits,
= 0 sinon

prod2 : usage de l'internet dans les secteurs « faiblement réorganisés »

= 1x int si *moins* de 25 % des entreprises du secteur ont adopté une organisation en centres de profits,
= 0 sinon

HT : indicateur de niveau technologique élevé

= 1 si le secteur appartient à la catégorie « haute technologie »,
= 0 sinon

FT : indicateur de niveau technologique faible

= 1 si le secteur appartient à la catégorie « faible technologie »,
= 0 sinon

L'OCDE distingue 4 niveaux technologiques : *haute technologie* si la part moyenne entre 1980 et 1995 de la R&D dans la valeur ajoutée du secteur est supérieure à 8,5 % ; *moyenne haute technologie* si elle est comprise entre 2,6 % et 4,5 % ; *moyenne faible technologie* si elle est comprise entre 1 % et 2,6 % et *faible technologie* si elle est inférieure à 1 %.

Le produit par tête est mesuré comme le rapport d'une valeur ajoutée sectorielle en volume sur des effectifs en équivalent temps plein. $proxy_{tu_{it}}$ désigne la variable décrivant les tensions sur la capacité productive du secteur i à la date t . Étant donné la très mauvaise qualité des séries de taux d'utilisation des capacités à ce niveau de désagrégation, nous avons utilisé un proxy calculé comme l'écart entre le taux de croissance de la valeur ajoutée du secteur i à la date t et le taux de croissance moyen du secteur sur la période 1992-1998. En l'absence de séries de capital en volume suffisamment désagrégées, nous avons aussi utilisé une approximation pour le calcul du capital par tête, en faisant l'hypothèse qu'un nombre suffisant de secteurs sont sur leur trajectoire de croissance de long terme (voir annexe IV). $ordi$ et $orga$ sont les indicateurs d'utilisation des TIC et de changement organisationnel. Les séries utilisées sont décrites plus en détail dans l'encadré 3 ci-dessus.

Les tentatives d'évaluation de l'impact de l'usage de TIC sur la productivité à partir de données intégrant une dimension sectorielle se heurtent à plusieurs difficultés méthodologiques.

— Dans les régressions en coupe, un impact positif de l'équipement en TIC peut provenir d'un effet fixe inobservable et corrélé à l'usage des TIC : ce sera le cas par exemple si les secteurs les plus performants sont ceux qui motivent le mieux leurs salariés, et s'ils obtiennent cette motivation en leur offrant un équipement *high-tech*. Ce problème est qualifié de *biais de simultanéité*. Pour tenter de réduire l'ampleur de ce biais, il convient de voir si l'impact positif des TIC résiste à l'introduction de variables susceptibles de décrire des phénomènes sectoriels spécifiques. Parmi les effets sectoriels dont il est souhaitable de corriger les effets, on peut citer : l'importance de la R&D dans l'activité du secteur et la qualification plus ou moins grande des salariés qui en résulte ; l'adoption de normes de qualité et de mesures destinées à améliorer la motivation des équipes ; la constitution de groupes de travail et de réflexion. Cette démarche peut être utilement complétée par l'introduction d'une dimension temporelle permettant d'effectuer des estimations en panel de manière à éliminer les effets fixes (estimations *within*).

— Au biais de simultanéité qui vient d'être décrit, s'ajoute un possible *biais d'endogénéité* que l'introduction d'une dimension temporelle ne permet pas, cette fois, d'éliminer : la corrélation entre productivité et usage des TIC peut en effet provenir du fait que les secteurs les plus productifs à un moment donné sont aussi ceux qui réalisent les profits les plus importants et donc ceux qui ont le plus de moyens pour investir en TIC. Un coefficient positif et significatif des TIC peut donc témoigner d'une causalité allant de la productivité vers l'équipement en TIC, plutôt que de la causalité inverse. De même, si les entreprises prennent la décision d'investir dans les TIC seulement lorsque la croissance de leurs profits a été forte pendant plusieurs années, il peut exister dans la

dimension temporelle une causalité allant de la croissance de la productivité vers la croissance de l'équipement en TIC. Un symptôme d'une telle inversion de causalité serait de trouver systématiquement que différentes variables dont on peut soupçonner qu'elles sont corrélées au taux de profit exercent une influence significative sur la productivité : par exemple, ce pourrait être le cas de variables décrivant les conditions de travail car celles-ci tendent souvent à s'améliorer en période de profits élevés. Le traitement de ce problème de causalité par la méthode des variables instrumentales est rendu délicat par le fait que les instruments pertinents ne sont pas toujours disponibles. Ceci conduit souvent les économètres à utiliser les valeurs retardées des variables explicatives comme instruments, alors que ceci ne fait pas nécessairement disparaître la corrélation entre les variables explicatives et le résidu. Plus simplement, vérifier qu'un grand nombre des variables susceptibles d'être corrélées au taux de profit n'ont pas d'influence significative sur la productivité constituerait un constat rassurant quant à l'ampleur de ce biais d'endogénéité.

Ces difficultés nous ont conduit à tenter deux types de régressions. Dans les premières, nous nous restreignons à une régression en coupe sur l'année 1997. Cela est nécessaire pour pouvoir tester le plus grand nombre possible de variables relatives à l'organisation et à l'informatisation, car la plupart des nombreuses questions de l'enquête COI portent sur la situation de l'entreprise en 1997 seulement. Ces régressions prennent donc la forme suivante :

$$\text{Log} \left(\frac{VA}{L} \right)_{i,1997} = \text{gproxy_tu}_{i,1997} + \text{bordi}_{i,1997} + \text{corga}_{i,1997} + \text{alog} \left(\frac{K}{L} \right)_{i,1997}$$

Trois mesures de l'équipement en TIC ont été testées. Ces variables décrivent des taux d'équipement des secteurs en un matériel informatique entendu au sens large. Les indicateurs décrivant les changements dans l'organisation du travail ainsi que les contraintes et les objectifs du management sont construits de la même manière et systématiquement testés. En ce qui concerne les TIC, seules *int* et *tr_info* ont un impact significatif, mais *int* est la variable qui ressort le plus significativement dans cette régression (tableau 7). En ce qui concerne les variables organisationnelles, seules deux d'entre elles se sont avérées avoir un impact significatif : la proportion d'établissements ayant adopté une organisation en centres de profits²⁹ (*cprof*), et la proportion d'établissements ayant affecté un cadre à temps plein pour l'amélioration de l'environnement, de l'hygiène et de la sécurité (*cadre_env*). Lorsque l'une ou l'autre de ces variables sont prises en compte, la variable *int* continue à être significativement différente de zéro bien que son coefficient diminue légèrement.

29. L'organisation en centres de profits consiste à découper les responsabilités budgétaires dépenses/ressources de manière à responsabiliser les différents services par l'identification claire des sources de rentabilité et de coût. Elle permet aussi de décentraliser la prise de décision.

7. Productivité en niveau, usage de l'Internet et organisation

	L(VA/L) 1	L(VA/L) 2	L(VA/L) 3	L(VA/L) 4
Constante	4,48*** (15,5)	4,78*** (14,8)	4,59*** (15,5)	4,67*** (15,2)
Proxy_tu ¹	0,007** (2,2)	0,008*** (2,7)	0,007** (2,2)	0,007** (2,2)
L(KL15) ²	0,22*** (3,9)	0,15** (2,3)	0,18*** (3,0)	0,18*** (2,8)
Int ³	0,008*** (3,6)	0,006** (2,5)	0,006** (2,3)	—
Cadre_env	—	0,007* (1,9)	—	—
Cprof	—	—	0,007 (1,4)	0,013*** (3,0)
R ²	0,49	0,53	0,51	0,45
Nombre d'observations	51	51	51	51

Lecture des résultats :

1. Une augmentation de 1 point de l'écart du taux de croissance de la valeur ajoutée à sa moyenne sur 1992-1998 conduit à un supplément de productivité du travail de 0,7 % (régression 1).

2. Une augmentation de 1 % de l'intensité capitalistique conduit à une augmentation de 0,22 % de la productivité du travail (régression 1).

3. Pour les variables *int*, *cadre_env* et *cprof*, le coefficient est une semi-élasticité : lorsque le pourcentage de firmes déclarant utiliser l'Internet s'accroît de 1 point, la productivité du travail s'accroît de 0,8 % (régression 1).

Les t de student sont entre parenthèses. Les seuils de significativité des coefficients sont entre 0 et 1 % (***), entre 2 % et 5 % (**), entre 6 % et 10 % (*).

Le fait que l'organisation en centres de profit exerce un impact fort et significatif (régression 4, tableau 7) suggère de tester l'hypothèse de complémentarité entre organisation et informatisation telle qu'elle a été défendue par Brynjolfsson et Hitt (1998). Nous construisons donc une variable indicatrice permettant de distinguer deux types de secteurs : ceux dans lesquels ce type d'organisation est largement répandu, et ceux dans lesquels moins de 25 % des firmes interrogées l'utilisent. Nous créons ensuite une double variable permettant de distinguer le taux d'usage de l'Internet des secteurs organisés en centres de profit (*prod1*) et celui des secteurs qui ne le sont pas significativement (*prod2*). Les résultats montrent que les gains de productivité sont cantonnés dans les secteurs combinant l'usage de l'Internet et un recours à l'organisation en centres de profit (tableau 8).

Ces résultats montrent que l'adoption de l'Internet a un impact plus important sur la productivité des secteurs manufacturiers lorsqu'elle a lieu dans des secteurs où de nouvelles formes d'organisation du travail ont été adoptées. Néanmoins, les résultats donnés dans le tableau 7 suggèrent que l'impact positif de l'utilisation de l'Internet existe indépendamment de l'organisation et des conditions de travail.

8. Organisation du travail et efficacité de l'usage de l'Internet

	L(VA/L)
Constante	4,81*** (15,6)
Proxy_tu	0,006* (1,8)
L(KL15)	0,17*** (3,0)
Prod1 ¹	0,009*** (4,0)
Prod2	0,003 (1,3)
R ²	0,55
Nombre d'observations	51
Statistique de Fisher F(1,46)	5,56

Lecture des résultats :

1. Une augmentation de 1 point du pourcentage de firmes déclarant utiliser l'Internet tout en étant organisées en centres de profit conduit à une augmentation de la productivité du travail de 0,9 %. Les t de student sont entre parenthèses. Les seuils de significativité des coefficients sont entre 0 et 1 % (***), entre 2 % et 5 % (**), entre 6 % et 10 % (*). Le test de Fisher indique que les coefficients de prod1 et de prod2 sont significativement différents au seuil de 2,3 %.

En testant l'impact de variables susceptibles de décrire des effets sectoriels spécifiques, on peut considérer avoir partiellement répondu au problème du biais de simultanéité. Néanmoins, l'exploitation de la dimension temporelle fournirait une confirmation rassurante. C'est pourquoi nous avons réestimé notre équation de productivité en utilisant cette fois-ci les quelques informations de l'enquête COI relatives à l'année 1994, de manière à avoir des données empilées sectorielles-temporelles. Cela présente en outre l'intérêt de doubler le nombre d'observations, ce qui n'est pas négligeable compte tenu de sa faiblesse initiale.

Cependant, l'enquête COI ne pose qu'un petit nombre de questions sur l'année 1994. En particulier, les entreprises ne sont pas interrogées sur leur organisation en centres de profit, ou leur utilisation de l'Internet en 1994. En ce qui concerne l'informatique, seules les variables *tr_info* et *eq* sont disponibles en 1994. Et aucune des variables d'organisation ayant un impact significatif n'est disponible en 1994. C'est pourquoi nous introduisons un autre type d'indicateur permettant de prendre en compte un effet sectoriel spécifique : l'« intensité technologique » au sens de l'OCDE. Cette variable permet de contrôler nos régressions des effets suivants. Les entreprises situées dans les secteurs *high tech* doivent réinvestir leurs profits dans un équipement à fort contenu technologique pour ne pas perdre de parts de marché. Cela peut créer artificiellement une corrélation entre la productivité et l'équipement informatique au niveau sectoriel. A l'inverse, les entreprises situées dans les secteurs *low tech* ont plutôt tendance à investir plus faiblement dans l'équipement

informatique, même si leurs profits et leurs productivités sont élevés. Ce comportement pourrait conduire à sous-estimer la corrélation entre l'informatisation et la productivité dans ces secteurs. L'intensité technologique peut aussi être considérée comme une bonne approximation de la qualification des salariés, de sorte que son introduction permet d'intégrer dans nos résultats l'impact de la qualité de la main-d'œuvre.

Nous séparons donc les secteurs étudiés en quatre classes d'intensité technologique : HT (haute technologie), MH (moyenne haute), MF (moyenne faible) et FT (faible technologie) ; et nous introduisons des variables indicatrices d'appartenance à ces catégories. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 9 ci-dessous. Seule l'indicatrice FT a un impact significatif. Son signe est conforme aux résultats habituels sur le rôle de l'intensité technologique et de la qualification des salariés dans l'explication de la productivité. L'estimation de l'impact de l'intensité capitaliste est sans doute d'assez mauvaise qualité, compte tenu de la rétropolation effectuée pour le calcul du stock de capital en 1994. Il n'est pas surprenant cependant que cette variable ait un impact plus significatif dans la dimension inter-sectorielle, compte tenu de la structure de sa variance. A l'inverse, le fait que l'indicateur de tensions sur les capacités ne soit pas significatif dans la régression *between* s'explique par sa faible variance inter-sectorielle.

9. Estimation de la productivité en panel

	L(pneqtp) within	L(pneqtp) between	L(pneqtp) MCO	L(pneqtp) MCG
Constante	—	4,82*** (22,1)	4,86*** (24,1)	5,09*** (30,1)
Proxy_tu	0,005*** (3,9)	ns	ns	0,003*** (2,7)
L(KL15)	0,06* (1,7)	0,12*** (2,6)	0,13*** (3,2)	0,09*** (3,0)
Tr_info ¹	0,006*** (6,3)	0,008*** (3,6)	0,007*** (4,5)	0,006*** (6,4)
FT	—	- 0,13** (- 2,3)	- 0,13** (- 2,2)	- 0,13* (- 1,7)
R ²	0,59	0,44	0,43	0,48
Nombre d'observations	102	102	102	102

Lecture des résultats :

1. Pour la variable *tr_info*, le coefficient est une semi-élasticité : lorsque le pourcentage de firmes déclarant utiliser une interface informatique pour transférer des données s'accroît de 1 point, la productivité du travail s'accroît de 0,6 % (régression *within*).

Les régressions *between* sont des MCO effectués sur les données transformées en remplaçant les observations par la moyenne temporelle des valeurs observées pour le secteur correspondant. Elles se concentrent donc sur la variabilité inter-sectorielle. Au contraire, les régressions *within* sont effectuées sur des données transformées en remplaçant chaque observation par son écart à la moyenne temporelle du secteur, ce qui permet de privilégier l'aspect temporel de la variabilité.

Les t de student sont entre parenthèses. Les seuils de significativité des coefficients sont entre 0 et 1 % (***), entre 2 % et 5 % (**), entre 6 % et 10 % (*).

Le nombre d'observations reste encore bien trop faible et la dimension temporelle bien trop étroite pour que l'on puisse considérer ces estimations comme pleinement satisfaisantes. Il n'en reste pas moins que l'impact positif du taux d'utilisation de l'interface informatique est significatif, aussi bien lorsque l'on exploite la dimension inter-sectorielle (régression *between*) que lorsque l'on élimine les effets fixes sectoriels (régression *within*), ou encore lorsque l'on exploite simultanément ces deux dimensions en corrigeant le biais d'hétéroscédasticité par la méthode des moindres carrés généralisés (MCG). En outre son coefficient varie très peu d'une régression à l'autre, ce qui tend à montrer que cet impact positif est valable aussi bien dans la dimension inter-sectorielle que dans la dimension temporelle.

Ces quelques estimations n'infirment pas l'hypothèse d'un effet favorable de l'équipement en TIC sur la productivité. Elles suggèrent aussi que cet impact favorable peut exister indépendamment de l'organisation des responsabilités au sein de l'entreprise (tableau 7), mais qu'il est néanmoins plus fort lorsque certaines formes d'organisations existent (tableau 8).

Il faut reconnaître que la question du biais d'endogénéité n'est pas traitée de manière totalement satisfaisante ici. Néanmoins, il est possible de considérer que l'ampleur de ce problème a été limitée, pour les deux raisons suivantes.

— L'étude est effectuée à un niveau de désagrégation intermédiaire, le niveau sectoriel fin. Or la causalité allant des profits vers l'informatisation existe pour certaines firmes mais ne se généralise par forcément à l'ensemble des entreprises des secteurs d'activité considérés.

— A part *cadre_env*, la plupart des variables relatives à l'environnement et à l'ambiance de travail que nous avons testées ne sont pas apparues significatives dans les régressions. Par exemple, nous n'avons trouvé aucun impact significatif de l'affectation de cadres à la gestion des ressources humaines ou à l'amélioration des méthodes et de la maintenance, de l'organisation de groupes de discussion, de la mise en place de consultations du personnel. Ceci tend à faire penser que les causalités allant des profits vers l'amélioration de l'environnement de travail s'atténuent au niveau sectoriel, même si elles existent au niveau individuel. Ce qui donne de la validité à l'argument précédent.

Les TIC semblent donc avoir un impact positif et significatif sur la productivité dans l'industrie manufacturière, mais nos résultats sont encore trop fragiles pour permettre un chiffrage fiable de celui-ci.

Conclusion

Il est maintenant possible de répondre aux questions posées au début de cet article. L'étude des données concernant les États-Unis montre que la rupture des gains de productivité horaire du travail et de productivité globale y est nette et s'explique pour une part non négligeable par la diffusion des TIC. En outre, l'argument de Gordon semble perdre de sa pertinence, puisque la productivité globale des facteurs est favorablement influencée aussi bien dans les secteurs producteurs que dans les secteurs utilisateurs de TIC, comme le montrent les résultats des études économétriques portant sur des firmes ou des secteurs appartenant à l'une ou l'autre de ces deux catégories. Si une telle rupture n'est pas encore décelable en France, l'étude économétrique de la productivité de 51 secteurs de l'industrie manufacturière donne de bonnes raisons d'espérer : elle fait en effet ressortir un impact positif des TIC, et celui-ci semble assez robuste puisqu'il résiste aussi bien à la prise en compte de l'intensité capitalistique et des tensions sur les capacités qu'à l'introduction de variables relatives aux conditions de travail ou à la qualification des salariés. Il reste que, comme dans de précédentes études, c'est lorsque les changements organisationnels et l'informatisation se combinent que la productivité est la plus accrue.

L'absence d'un résultat sur données agrégées pour la France peut largement s'expliquer par le retard de diffusion et la mauvaise conjoncture des années 1990. L'idée d'une incapacité des entreprises françaises à exploiter correctement le nouveau paradigme technologique n'est pas confirmée par l'économétrie portant sur l'industrie manufacturière. L'ampleur du « paradoxe français de la productivité » pourrait donc bien finir par s'estomper.

ANNEXE I

Les modèles d'innovation générique

Nous présentons ici le modèle proposé par Helpman et Trajtenberg (1994). Il s'agit d'un modèle à trois secteurs : un secteur de production des biens finaux ; un secteur de production des biens intermédiaires et un secteur de recherche et développement dans lequel de nouveaux biens intermédiaires sont inventés.

Le bien final est produit à partir de biens intermédiaires de type $j \in [0, n_i]$ tous compatibles avec l'innovation générique i en cours d'usage. La fonction de production utilise ces biens intermédiaires avec une élasticité de substitution constante :

$$(1) \quad Q_i = I^i D_i, \quad I > 1$$

où I^i est le niveau de productivité de l'innovation générique i et où

$$(2) \quad D_i = \left[\int_0^{n_i} x_i(j)^a dj \right]^{1/a}, \quad 0 < a < 1$$

avec m générations de GPT la production agrégée est égale à :

$$Q = \sum_{i=1}^m Q_i = \sum_{i=1}^m I^i D_i$$

Les producteurs de biens intermédiaires sont en situation de monopole pour la catégorie de bien j qu'ils produisent. Ils utilisent une technologie avec laquelle une unité de travail produit une unité de bien intermédiaire. Les producteurs de bien final sont sur un marché concurrentiel. On en déduit l'expression du prix de chaque bien intermédiaire :

$$(3) \quad p_i(j) = p = \frac{I}{a} w$$

où w est le taux de salaire. Il en résulte que toutes les composantes associées à la GPT i sont utilisées en quantités égales d'où :

$$(4) \quad D_i = n_i^{(1-a)/a} X_i$$

où $X_i = n_i x_i$ est la quantité de composantes du type i employées par un producteur de bien final utilisant la GPT i . C'est aussi la quantité de facteur travail employée dans le secteur des biens intermédiaires de type i . La quantité de travail nécessaire à la production d'une unité de bien final est alors : $b_i = X_i / Q_i = I^{-i} n_i^{-(1-a)/a}$. Plus il y a de composants du type i et plus cette quantité est faible.

Un producteur de bien final choisit la quantité de chaque bien intermédiaire et le type de GPT qu'il utilise de façon à minimiser son coût unitaire de production. Il choisit donc un prix de vente égal à son coût marginal de production soit :

$$(5) \quad p_Q = \frac{I}{a} w b \quad \text{où } b = \min_{1 \leq i \leq m} b_i$$

Une GPT de génération supérieure n'est adoptée dans la production du bien final que si elle vérifie $b_{i+1} < b_i$. Ceci n'est vérifié que lorsqu'un nombre suffisant de biens intermédiaires relatifs à cette GPT sont disponibles. Formellement la condition d'adoption est la suivante :

$$(6) \quad n_{i+1} > h n_i, \quad 0 < h = 1 / I^{a/(1-a)} < 1$$

En calculant la quantité de chaque bien intermédiaire utilisée dans la production de bien final et en utilisant l'équation (3), on trouve le profit de chaque producteur de bien intermédiaire relatif à la GPT i :

$$p_i = \frac{(1-a)w b_i Q_i}{a n_i}$$

La valeur d'une firme produisant des biens intermédiaires est alors :

$$(7) \quad v_i(t) = \int_t^{\infty} e^{-R(t,t)} p_i(t) dt$$

où $R(t,t) = \int_t^t r(z) dz$ est le facteur d'escompte entre t et t et r le taux d'intérêt.

Cette valeur est maximisée si :

$$(8) \quad \frac{p_i}{v_i} + \frac{\dot{v}_i}{v_i} = r$$

Le processus de R&D aboutissant à l'apparition de nouveaux biens intermédiaires est déterministe et s'écrit : $\dot{n}_i dt = (I_i/a) dt$ où I_i est la quantité de travail consacrée à la R&D relative à la GPT i et $1/a$ l'efficacité du processus de R&D.

La condition de libre entrée sur le marché de l'investissement en R&D implique :

(9) $n_i \leq w.a$ vérifiée à l'égalité si $\dot{n}_i > 0$ (l'investissement en R&D existe)

Le travail est employé dans les activités de R&D (invention de nouveaux composants de la technologie i) et dans la fabrication de ces composants :

$$(10) \quad a \sum_{i=1}^m \dot{n}_i + \sum_{i=1}^m b_i Q_i = L$$

Les consommateurs maximisent une fonction d'utilité intertemporelle logarithmique, ce qui donne la règle de taux de croissance de la consommation : $\dot{C}/C = r - p_Q/p_Q - r$.

La dynamique de l'innovation est alors décrite par un processus comprenant deux phases. Dans la phase 1 de durée D_1 , l'ancienne technologie est utilisée pour produire les biens finaux tandis que la nouvelle technologie n'est utilisée que dans le secteur de la R&D : des biens intermédiaires de la nouvelle génération sont inventés mais pas encore produits ni utilisés. Dans la phase 2 de longueur D_2 , l'ancienne technologie est dépassée par la nouvelle dans le secteur de production des biens

finaux (et donc intermédiaires), tandis que l'invention de biens intermédiaires de la nouvelle génération se poursuit. En supposant que D et I sont constants, on obtient des phases de croissance d'amplitude constante.

La phase 1 se caractérise par l'existence d'une R&D destinée à inventer des composants de la génération i ($a n_i \leq w.a$) et par le fait que les profits de ces composants sont nuls ($n_i \leq w.a$). D'après la condition (8), le comportement des inventeurs de biens intermédiaires aboutit alors à la dynamique du salaire :

$$\frac{\dot{w}}{w} = r \text{ pour } T \in [T_i T_i + D_i]$$

De même, la règle de fixation des prix des producteurs de biens finaux (5), la contrainte de ressources en travail (9) et la condition de normalisation (10) impliquent :

$$\dot{n}_i = \frac{1}{a} \left(L - \frac{a}{w} \right) \text{ pour } w \geq \frac{a}{L}, n_i(T_i) = 0, t \in [T_i T_i + D_i]$$

Ces deux équations donnent, à partir d'une condition initiale $w(T_i)$, une dynamique où le salaire et le nombre de produits intermédiaires de la génération i sont croissants.

De la même façon, dans la phase 2 on a $p_i > 0$ et $\dot{n}_i > 0$. On obtient alors un système d'équations décrivant une situation de point-selle :

$$\dot{w} = r w - \frac{1-a}{a n_i} \text{ pour } t \in [T_i T_i + D_i]$$

et :

$$\dot{n}_i = \frac{I}{a} \left(L - \frac{a}{w} \right) \text{ pour } w \geq \frac{a}{L}, t \in [T_i T_i + D_i]$$

Ce système de quatre équations est complété par des conditions de continuité entre les deux régimes qui permettent d'étudier la dynamique globale de l'économie sur toute la durée d'un cycle de croissance. Cette dynamique se caractérise par deux phénomènes : d'une part une élévation continue de la productivité globale des facteurs liée à la fois à l'augmentation du nombre de biens intermédiaires d'une même génération technologique et à l'arrivée de nouvelles générations plus efficaces (équations (1) et (4)) ; d'autre part une *évolution cyclique des salaires* avec une hausse dans la phase 1 et une baisse dans la phase 2. Ce profil cyclique provient de l'existence de rentes de monopole dans le secteur des biens intermédiaires : lorsqu'une innovation radicale i apparaît, des investisseurs pensent qu'elle sera adoptée et anticipent donc les profits futurs issus de la production des nouveaux biens intermédiaires utilisant cette nouvelle technologie. Une activité de R&D¹ cherchant à inventer ces biens intermédiaires est donc profitable. Les investisseurs créent des firmes destinées à cela, ce qui aboutit à une

1. Il ne faut pas oublier ici que la R&D n'est pas à l'origine des innovations radicales mais du développement des nouveaux produits intermédiaires.

augmentation de la demande de travail et donc à une hausse du salaire réel. Cette hausse est juste suffisante pour que les investissements dans la R&D liée à l'ancienne technologie soient abandonnés (équation (9)). Au moment où elle se produit, le coût marginal des composants de l'ancienne technologie s'accroît. Il y a donc une hausse du prix des biens intermédiaires de la génération $i-1$, alors même que le nombre de ces biens a cessé de s'accroître : cela conduit à une baisse du produit. Ceci ne se produirait pas si les producteurs de biens intermédiaires de l'ancienne génération pouvaient s'entendre pour maintenir leurs prix, c'est à dire réduire leurs *mark-up* en se rapprochant d'une tarification au coût marginal. Après le choc lié à l'apparition de la nouvelle technologie, les innovateurs arrivent sur le marché de la R&D de manière continue, ce qui conduit à une hausse continue du salaire (et donc une baisse du PIB) pendant toute la phase 1. Dans la phase 2, la nouvelle technologie est adoptée tandis que le nombre de variétés de biens intermédiaires utilisées dans la production du bien final s'accroît. Cela permet d'économiser du travail dans la production des biens finaux et conduit donc à une baisse des salaires. Il en résulte une croissance plus élevée.

ANNEXE II

Le modèle de Greenwood et Jovanovic (1998)

Au lieu de considérer comme Solow (1960) que les générations de capital d'efficacités différentes s'agrègent au sein d'une même unité productive, les auteurs supposent que l'accumulation a lieu par construction de nouvelles unités productives incorporant les nouvelles générations de capital. La production d'une unité où le capital est d'âge t est donc :

$$(1) \quad y_t = z_t k_t^a l_t^b$$

Le capital d'une usine t se déprécie au taux d et ne peut être augmenté une fois en place. Comme dans le modèle originel, le progrès technique prend la forme d'une amélioration de l'efficacité de la production du capital nouveau : i_0 unités de bien final consacrées à l'investissement donnent qi_0 unités de capital nouveau et q croît au taux g_q , de sorte que le coût unitaire du capital décroît de période en période au taux g_q . Mais le progrès technique est cette fois mis en œuvre par l'entrée sur le marché des biens finaux de nouveaux entrepreneurs utilisant de nouvelles usines. Le flux d'entrepreneur entrant sur le marché en t est noté $n_0(t)$.

Les phénomènes de délais d'apprentissage sont pris en compte au travers de l'expression analytique de l'évolution de la productivité globale des facteurs :

$$(2) \quad z_t = (1 - z^* e^{-lt})^{1-b}$$

Cette expression prend en compte un phénomène de « *learning by doing* » puisque z augmente avec t , l'âge du capital installé dans l'usine considérée.

Les délais de diffusion proprement dits sont traités au travers du choix d'une expression de z^* . Les auteurs choisissent l'expression suivante :

$$(3) \quad z^* = w g_q^n + c \left[1 - \frac{1}{1 + e^{(\Delta - \epsilon)t}} \right]^s$$

Cette formulation est suffisamment complexe pour prendre en compte le lien entre apprentissage, rythme des innovations et délais de diffusion. Deux types de phénomènes sont en effet pris en compte. D'une part, il faut considérer que *l'apprentissage est d'autant plus lent que les innovations apparaissent à un rythme élevé* ; ceci est pris en compte au travers du premier terme du membre de droite. D'autre part, il faut prendre en compte les *externalités de diffusion* qui augmentent la vitesse d'apprentissage ; cela est pris en compte au travers du second terme du membre de droite. Ce second terme mérite de plus amples explications :

les auteurs supposent que l'apparition d'un nouveau paradigme technologique se traduit par l'élévation du taux de progrès technique. On passe de g_q^* à g_q^{**} . Comme les profits générés par l'investissement sont alors plus importants, il y a un nombre d'entrants *potentiels* sur le marché des biens finaux plus élevé. On passe de n^* entrants *potentiels* à chaque période à n^{**} . Cependant, il existe des *délais d'adoption du nouveau paradigme*, de sorte que le nombre effectif d'entrants ne rejoint pas immédiatement n^{**} . Le ratio entre les entrants effectifs et les entrants potentiels est donc de la forme :

$$(4) \quad \frac{\int_0^t n_0(s) ds}{n^{**}} = \frac{1}{1 + e^{(\Delta - \epsilon)t}}$$

Ce qui donne une courbe de diffusion en S , reprise dans l'expression de z^* ci-dessus.

ANNEXE III

Classification des industries utilisatrices de TIC

Deux critères de sélection sont combinés par le Département du commerce (1999), et les 15 premières branches sont retenues comme utilisatrices de TIC : part du stock de TIC dans le stock net de capital et investissement en TIC par employés en 1996. Un seul critère est retenu par McGuckin et Stiroh (1998, 1999) : que la part du stock de matériels informatiques dans le stock total en 1990 soit supérieure à 2,4 %, ce qui correspond au premier tiers des branches (18 sur 55). Le tableau qui suit récapitule les industries fortement utilisatrices de TIC selon ces deux critères. L'arbitraire des critères tient en particulier à la date de référence. Avec des données en 1996, le seuil du premier tiers des branches abaisse la limite des 2,4 % à 1,9 % environ et fait ainsi entrer dans la catégorie des utilisateurs de nouvelles branches. Selon les données de McGuckin et Stiroh, trois branches du secteur des services, soit 63 % de la valeur ajoutée totale du secteur privé en 1990, utilisent à elles seules environ trois quart du matériel disponible : commerce ; finance, assurance, immobilier ; services. A cette date, le matériel informatique ne joue donc qu'un rôle marginal dans un peu plus du tiers de l'économie privée. La concentration est moindre en ce qui concerne les TIC autres que le matériel informatique car le secteur transports, moyens de communication et services publics est aussi un grand utilisateur.

AIII. Les industries fortement utilisatrices de TIC

	Département du commerce	McGuckin et Stiroh
Secteur manufacturier		
Instruments de mesure (SIC 38)	Oui (pt*)	Oui
Produits pétroliers et charbons (SIC 29)	Oui	Non
Equipements électriques et électroniques (SIC 36)	Oui (pt*)	Oui
Produits chimiques et dérivés (SIC 28)	Oui	Non
Imprimerie et presse (SIC 27)	Non	Oui
Equipements et machines industriels (SIC 35)	Non	Oui
Verre et matériaux de construction (SIC 32)	Non	Oui
Secteur des services		
Télécommunications (SIC 48)	Oui (pt*)	Non
Courtiers en titres et en matières premières (SIC 62)	Oui	Oui
Chaînes de radio et de TV (SIC 48)	Oui (pt*)	Non
Services aux entreprises (SIC 73)	Oui (pt*)	Oui (pt*)
Autres services, non classés ailleurs (SIC 83-87, 89)	Oui	Oui
Courtiers et agents d'assurance (SIC 64)	Oui	Oui
Banques de dépôt (SIC 60)	Oui	Oui
Cinéma (SIC 78)	Oui	Oui
Holdings financières (SIC 67)	Oui	Oui
Commerce de gros (SIC 50, 51)	Oui (pt*)	Oui
Services juridiques (SIC 81)	Oui	Oui
Immobilier (SIC 65)	Oui	Non
Institutions et sociétés financières spécialisées (SIC 61)	Oui	Oui
Pipelines, sauf gaz naturel (SIC 46)	Oui	Non
Sociétés d'assurances (SIC 63)	Oui	Oui
Services de santé (SIC 80)	Oui	Non
Services de réparations automobiles (SIC 75)	Non	Oui
Autres services de réparations (SIC 76)	Non	Oui
Services aux particuliers (SIC 72)	Non	Oui

*pt = une partie de la branche.

Sources : US Department of commerce (1999), McGuckin et Stiroh (1998, 1999).

ANNEXE IV

Étude économétrique de l'impact de l'informatisation sur la productivité pour 51 secteurs manufacturiers

Les sources utilisées pour la France

L'enquête sur les changements organisationnels et l'informatisation dans l'industrie

L'enquête COI est un questionnaire envoyé par le SESSI à un échantillon représentatif des entreprises industrielles de plus de 20 salariés. Elle porte sur la situation des entreprises en 1994 et 1997 et résulte d'un regroupement de deux enquêtes : l'enquête « Changements Organisationnels » qui était conduite auprès des entreprises par le SESSI, et l'enquête « Techniques et Organisation du travail » qui était conduite auprès des salariés par la DARES. Les questions portent sur les changements dans l'organisation du travail (structure fonctionnelle de l'entreprise, dispositifs de gestion du partage des tâches et du temps de travail, normes de qualité, relations avec d'autres entreprises) et sur l'usage des technologies de l'information (équipement, organisation de la fonction informatique, transferts de données), ainsi que sur les objectifs et les difficultés impliquées par ces changements. Les entreprises des secteurs de l'énergie n'ont pas été interrogées.

La totalité des entreprises industrielles de plus de 500 personnes a été interrogée ; un échantillon représentatif des autres catégories d'établissement a été tiré au hasard. Les réponses ont été élaborées au sein des directions générales, des directions industrielles, des directions des ressources humaines et des responsables du service informatique. Nous avons demandé au SESSI un regroupement des réponses individuelles au niveau sectoriel fin (NAF116, *i.e.* niveau G de la nomenclature TES ¹) de manière à pouvoir utiliser les résultats de cette enquête dans des régressions de productivité utilisant les données de comptabilité nationale de niveau NAF116. Les réponses ont été pondérées par la taille des entreprises interrogées (par application d'un coefficient de redressement calculé par classe de taille). Ainsi, pour chaque question, le questionnaire donne le pourcentage d'entreprises du secteur NAF116 classé dans telle ou telle catégorie de réponse.

1. Dans la base 1995, une nouvelle nomenclature de diffusion des activités et des produits a été mise en place. L'INSEE utilise désormais la nomenclature dite « TES » qui est dérivée de la NAF (nomenclature d'activités française). La NAF a remplacé la NAP et est désormais cohérente avec la nomenclature des activités économiques de la Communauté européenne (NACE).

Les données de comptabilité nationale

Les données de comptabilité nationales fournies par l'INSEE sont les suivantes :

— Valeur ajoutée des branches en volume issues des comptes de production au niveau G. Les volumes sont calculés aux prix de l'année précédente chaînés base 1995. Les années dont nous avons pu disposer sont 1991 à 1998.

— Investissement des branches en volume au niveau G de 1995 à 1998. Les volumes sont calculés aux prix de l'année précédente chaînés base 1995.

— Investissement des branches en volume au niveau E de la nomenclature de 1978 à 1998. Les volumes sont calculés aux prix de l'année précédente chaînés base 1995.

— Emploi intérieur salarié en équivalent temps plein par branches au niveau G de la nomenclature, de 1990 à 1998.

Approximation du capital par tête

Nous n'avons pu nous procurer de séries de stock de capital pour les secteurs manufacturiers au niveau fin de la nomenclature de diffusion (NAF116). Par contre, l'INSEE nous a fourni des séries d'investissement des branches au niveau NAF116 pour les sociétés non financières, les entreprises individuelles et les administrations publiques, en volume aux prix de l'année précédente, pour les années 1995, 1996, 1997 et 1998. Ces séries ont été rétopolées pour l'année 1994 en se calant sur les données d'investissement du niveau E de la nomenclature (NAF16). Nous avons calculé les parts de chaque sous-secteur de niveau NAF 116 dans l'investissement de niveau E ainsi que leur taux de croissance. Ceci nous a permis de répartir l'investissement de niveau E en 1994 entre les différents sous-secteurs de niveau NAF116.

Pour les années 1994 à 1998, le stock de capital a été approché par sa valeur d'état stationnaire. En effet, l'accumulation du capital s'écrit :

$$K_t = (1-d).K_{t-1} + I_t$$

où d est le taux de dépréciation du capital. En divisant par la valeur ajoutée Y , on obtient :

$$\frac{K_t}{Y_t} = (1-d) \frac{K_{t-1}}{Y_{t-1}} \frac{Y_{t-1}}{Y_t} + \frac{I_t}{Y_t}$$

A l'état stationnaire, cela s'écrit (en posant $\frac{K_t}{Y_t} = \frac{K_{t-1}}{Y_{t-1}}$ et en supposant constant) :

$$\frac{K}{Y} = \frac{I + g}{g + d} \frac{I}{Y}$$

où g est le taux de croissance de la valeur ajoutée à l'état stationnaire.

Références bibliographiques

- AGHION Ph. et P. HOWITT, 1998 : *Endogenous growth theory*, Cambridge MA, MIT Press.
- AGLIETTA M., 2000 : « Nouvelle économie, nouvelles régulations », dans *Espérances et menaces de la nouvelle économie*, Descartes et Cie, ouvrage collectif du Cercle des Économistes.
- AMABLE B., R. BARRÉ et R. BOYER, 1997 : *Les systèmes d'innovation à l'ère de la globalisation*, Economica.
- AMENDOLA M. et J.-L. GAFFARD, 1998 : *Out of Equilibrium*, Oxford, Clarendon Press.
- AMENDOLA M. et J.-L. GAFFARD, 2000 : « Learning processes, productivity and growth », *miméo*, 19 septembre.
- ARROW K. J., 1962 : « The economic implications of learning by doing », *Review of Economic Studies*, 29, juin.
- ASKENAZY Ph., 2000 : « The consequences of new workplaces practices in the United States : the neo-stakhanovism », *mimeo*, CEPREMAP.
- BARRO R. J. et X. SALA-I-MARTIN, 1996 : *La croissance économique*, traduction française, Mc Graw Hill/Ediscience International.
- BERNDT E. R. et C. J. MORRISON, 1995 : « High-tech capital formation and economic performance in US manufacturing industries : an exploratory analysis », *Journal of Econometrics*, 65.
- BOYER R., 2000 : « What constraints on european growth ? Innovations, institutions and economic policy », conférence du Centre Saint-Gobain pour la Recherche en Économie : *Que savons-nous sur les institutions et l'innovation en Europe*, Paris, 9-10 novembre.
- BRENDER A. et F. PISANI, 1999 : *Le nouvel âge de l'économie américaine*, Economica.
- BROOKES M. et Z. WAHHAJ, 2000 : « The shocking effect of B2B », Goldman Sachs & Co, *Global Economic Papers*, n° 37, 3 février.
- BROUSSEAU E. et A. RALLET, 1999 : *Technologies de l'information, organisation et performances économiques*, Rapport pour le Commissariat général du Plan.
- BRYNJOLFSSON E. et L. HITT, 1995 : « Information technology as a factor of production : the role of differences among firms », *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 3, n° 3-4.
- BRYNJOLFSSON E. et L. HITT, 1996 : « Paradox lost ? Firm-level evidence on the returns to information systems spending », *Management Science*, vol. 42, avril.

- BRYNJOLFSSON E et L. HITT, 1998 : « Beyond the productivity paradox : computers are the catalyst for bigger changes », *miméo* à paraître dans les communications de l'ACM, août.
- CERISIER F. et K. SHUBERT, 2000 : « La représentation macroéconomique de l'innovation », *Revue Française d'Économie*, vol. 15, n° 1.
- CETTE G., J. MAIRESSE et Y. KOCOGLU, 2000a : « La diffusion des technologies de l'information et de la communication en France : mesure et contribution à la croissance », à paraître dans *Économie et Statistique*, version provisoire datée du 8 juin.
- CETTE G., J. MAIRESSE et Y. KOCOGLU, 2000b : « La diffusion des technologies de l'information et de la communication en France : mesure et contribution à la croissance », *Futuribles*, n° 59, décembre.
- COMMISSION EUROPÉENNE, 2000 : « The EU economic 2000 review », *European Economy*, n° 71.
- CBO, 2000 : « The budget and economic outlook : fiscal years 2001-2010 », annexe A, janvier.
- 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.
- COUTROT Th., 2000 : « Innovations et gestion de l'emploi », *Premières synthèses*, DARES, 2000.03, n° 12.1.
- DAVID P. A., 1990 : « The dynamo and the computer : an historical perspective on the modern productivity paradox », *American Economic Review*, n° 80, mai.
- DELONG J. B. et M. FROOMKIN, 1999 : « Speculative microeconomics for tomorrow's economy », article disponible sur <http://econ161.berkeley.edu>, 14 novembre.
- DENISON E., 1985 : *Trends in American economic growth, 1929-1982*, Brookings Institution Press.
- DIXIT A. K. et J. E. STIGLITZ, 1977 : « Monopolistic competition and optimum product diversity », *American Economic Review*, vol. 67, n° 3, juin.
- DOSI G., 1982 : « Technological paradigms and technological trajectories », *Research Policy*, vol. 11.
- ETHIER W., 1982 : « National and international returns to scale in the modern theory of international trade », *American Economic Review*, vol. 72, n° 3, juin.
- GELAUFF G. et P. de BIJL, 2000 : « The renewing economy », *CPB report*, janvier.

- GORDON R. J., 1998 : « Foundations of the Goldilocks economy : supply shocks and the time-varying NAIRU », article présenté à la *Brookings Panel on Economic Activity*, 4 septembre.
- GORDON R. J., 1999 : « Has the new economy rendered the productivity slowdown obsolete ? », *miméo* extrait sur le site web de l'auteur, 14 juin.
- GORDON R. J., 2000 : « Does the « new economy » measure up to the great inventions of the past ? », *Journal of Economic Perspectives*, vol. 14, n° 4, automne.
- GREENAN N., 1996 : « Progrès technique et changements organisationnels : leur impact sur l'emploi et les qualifications », *Economie et Statistique*, Insee, n° 298, 1996-8.
- GREENAN N. et J. MAIRESSE, 1996 : « Computers and productivity in France : some evidence », *NBER Working Papers*, n° 5836.
- GREENSPAN A., Chairman Board of Governors of the Federal Reserve System, remarks at the *35th Annual Conference on Bank Structure and Competition of the Federal Reserve Bank of Chicago*, 6 mai 1999.
- GREENSPAN A., Chairman Board of Governors of the Federal Reserve System, remarks before the *New York Association for Business Economics*, 13 juin 2000.
- GREENWOOD J. et B. JOVANOVIC, 1998 : « Accounting for growth », *NBER Working Papers*, n° 6647.
- GUST C. et J. MARQUEZ, 2000 : « Productivity developments abroad », *Federal Reserve Bulletin*, octobre.
- HELPMAN E. et M. TRAJTENBERG, 1994 : « A time to sow and a time to reap : growth based on General Purpose Technologies », *NBER Working Papers*, n° 4854.
- INSEE, *L'économie française 2000-2001*.
- JORGENSEN D. et K. J. STIROH, 2000 : « Raising the speed limit : US economic growth in the information age », *Brookings Papers on Economic Activity*, n° 1.
- KREMER M., 1993 : « Population growth and technological change : one million B.C. to 1990 », *Quarterly Journal of Economics*, vol. 108, n° 3, août.
- LAFAY G., 1997 : *Comprendre la mondialisation*, Économie Poche, Economica, 2^e édition.
- LAHIDI R., 2000 : « Le dualisme de la nouvelle économie », rapport 28 du Conseil d'Analyse Économique *Nouvelle Économie*.

- LANDELFELD J. S. et B. M. FRAUMENI, 2000 : « Measuring the New Economy », article préparé pour le *BEA Advisory Committee Meeting*, 5 mai.
- LEHR B. et F. LICHTENBERG, 1999 : « Information technology and its impact on firm-level productivity : evidence from government and private data sources, 1977-1993 », *Canadian Journal of Economics*, vol. 32, n° 2.
- LICHTENBERG F. R., 1995 : « The output contributions of computer equipment and personnel : a firm level analysis », *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 3, n° 3-4.
- LIPSEY R. G., C. BEKAR et K. CARLAW, 1998 : « What requires explanation ? », in E. Helpman (ed.), *General Purpose Technologies and Economic Growth*, MIT press.
- MCGUCKIN R. H. et K. J. STIROH, 1998 : « Computers, productivity and growth », *Economic Research Report*, The Conference Board, avril.
- MCGUCKIN R. H. et K. J. STIROH, 1999 : « Do computers make output harder to measure ? », *miméo* obtenu sur demande aux auteurs, 17 novembre, à paraître en 2001 dans le *Journal of Technology Transfer*.
- MESENBOURG T. L., 1999 : « Measuring electronic business : definitions, underlying concepts, and measurement plans », US Bureau of the Census, <http://www.census.gov/epcd/www/ebusiness.htm>
- MONTHLY LABOR REVIEW, 1999 : *Measuring productivity*, février.
- MOULTON B. R., 1999 : « GDP and the digital economy : keeping up with the changes », conférence du US Department of Commerce : *Understanding the digital economy : data, tools and research*, Washington, 25-26 mai.
- OCDE, 2000 : « A new economy ? : The changing role of innovation and information technology in growth », contribution for the June 2000 meeting of the OECD Council at Ministerial Level, 25 mai.
- OLINER S. D. et D. E. SICHEL, 2000 : « The resurgence of growth in the late 1990s : is information technology the story ? », *The Journal of Economic Perspectives*, vol. 14, n° 4, automne.
- REICH R., 1991 : *The Work of Nations*, Alfred Knopf Inc., New York, traduction française, 1993 : *L'économie mondialisée*, Dunod, Paris.
- 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.
- ROMER P., 1990 : « Endogenous technological change », *Journal of Political Economy*, vol. 98, n° 5, octobre.

- SCHREYER P., 2000 : « The contribution of information and communication technology to output growth : a study for the G7 countries », *STI working paper*, 2000/2, mars.
- SCHUMPETER J. A., 1934 : *The Theory of Economic Development*, Cambridge MA, Harvard University Press.
- SHAPIRO K. et H. R. VARIAN, 1999 : *Information rules : a strategic guide to the network economy*, Boston, Harvard Business School Press.
- SHESHINSKI E., 1967 : « Optimal accumulation with learning by doing », in K. Shell (ed.), *Essays on the Theory of Optimal Economic Growth*, Cambridge MA, MIT Press.
- SICHEL D. E., 1997 : *The computer revolution : an economic perspective*, Brookings Institution, Washington Press.
- SICHEL D. E., 1999 : « Computers and aggregate economic growth : an update », *Business Economics*, vol. XXXIV, n° 2, avril.
- SOLOW R., 1987 : « We'd better watch out », *New York Times Book Review*, 12 juillet.
- SPENCE M., 1976 : « Product selection, fixed costs, and monopolistic competition », *Review of Economic Studies*, vol. 43, n° 2, juin.
- STEINDEL Ch., 1992 : « Manufacturing productivity and high-tech investment », *FRBNY Quaterly Review*, été.
- STIROH K. J., 1998 : « Computers, productivity and input substitution », *The Economic Inquiry*, avril.
- STIROH K. J., 1999 : « Is there a New Economy ? », *Challenge*, vol. 42, n° 4, juillet-août.
- TRIPLETT J. E. et B. S. BOSWORTH, 2000 : « Productivity in the services sector », article préparé pour l'*American Economic Association Meetings*, Boston, 7-9 janvier.
- UCHITELLE L., 2000 : « Economic view : productivity finally shows the impact of computers », *New York Times*, 12 mars.
- US DEPARTMENT OF COMMERCE, 1999 : *The emerging digital economy*, juin.
- US DEPARTMENT OF COMMERCE, 2000 : *The digital economy*, juin.
- WHELAN K., 2000 : « Computers, obsolescence and productivity », *Finance and Economics Discussion Series*, Federal Reserve Board, n° 2000-6, février.
- ZARNOWITZ V. 1999 : « Theory and history behind business cycles : are the 1990s the onset of a golden age ? », *Journal of Economic Perspectives*, vol. 13, n° 2, printemps.

