

**TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE LA  
COMMUNICATION:  
APPROCHES ECONOMETRIQUES SUR LE  
PARADOXE DE PRODUCTIVITE.<sup>1</sup>**

**Thierry Teste**

**Résumé:**

*D'un intérêt encore récent pour l'analyse économique, la diffusion des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) dans les économies modernes relance un débat déjà ancien sur les liens entre la croissance, la productivité et l'emploi. De nombreuses études empiriques sur l'impact de ces nouvelles technologies en terme de productivité, notamment de productivité du travail et de productivité totale des facteurs, débouchent sur des résultats ambigus. C'est ce que l'on appelle aujourd'hui le « paradoxe de productivité ». Le principal objectif du travail présenté ici est de donner une vue d'ensemble, d'une manière non exhaustive et modeste, sur les différentes approches économétriques qui analysent les conséquences du développement des TIC sur la productivité. La conclusion de ce travail nous inspire deux sortes de commentaires. Tout d'abord, les réponses apportées sur la question du décalage des résultats obtenus sur données micro-économiques de ceux obtenus sur données agrégées ne sont pas suffisantes. D'autres mécanismes, plus complexes, peuvent expliquer le paradoxe de productivité. Enfin, le domaine empirique reste pauvre et il existe encore beaucoup d'études à réaliser sur le thème des liens entre les TIC et la performance des entreprises.*

**Mots-clés:** Technologie de l'information et de la communication, informatisation, productivité, fonctions de production et de coût.

---

<sup>1</sup>L'origine de ce travail repose sur une étude réalisée dans le cadre du Commissariat Général au Plan « performances économiques, emploi et qualifications » présidée par Pascal Petit, Cepremap & Cnrs, mai 1998.



## 1. INTRODUCTION.

D'un intérêt encore récent pour l'analyse économique, la diffusion des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) dans les économies modernes relance un débat déjà ancien sur les liens entre la croissance, la productivité et l'emploi.

Tout d'abord, les TIC qui peuvent généralement être considérées comme des innovations technologiques, sources du progrès technique, et donc à l'origine d'une augmentation des richesses, se sont développées au sein des entreprises alors même que la croissance connaissait un ralentissement.

Ensuite, les nombreuses études empiriques sur l'impact de ces nouvelles technologies en terme de productivité<sup>2</sup>, notamment de productivité du travail et de productivité totale des facteurs, débouchent sur des résultats ambigus. C'est ce que l'on appelle aujourd'hui le « paradoxe de productivité ».

Enfin, les liens entre la diffusion des TIC et l'emploi ne sont pas plus évidents et le débat en la matière tourne autour de deux idées. La première considère le progrès technique comme destructeur d'emploi en favorisant une substitution du capital au travail. La seconde voit la diffusion de ces nouvelles technologies comme un facteur déterminant du changement de la structure des emplois, favorisant l'emploi qualifié au détriment de l'emploi non qualifié et entraînant ainsi un « biais technologique ». Or, comme le souligne N. Greenan, *« d'un côté la diffusion des TIC a un impact macro-économique ambigu sur la productivité, de l'autre, ces investissements sont en partie des investissements dans les hommes »*. Ce qui lui permet d'ajouter que *« l'effet destructeur d'emploi du progrès technique devrait s'en trouver atténué, or ce n'est pas ce que l'on observe, ni ce que l'on dit »*. Ces remarques conduisent à un second paradoxe lié, cette fois, à l'impact de la diffusion des TIC sur l'emploi.

Dans le travail présenté ici, notre intérêt porte sur le second point de ce débat, le principal objectif étant de donner une vue d'ensemble, d'une manière non exhaustive et modeste, sur les différentes approches économétriques qui analysent les conséquences du développement des TIC sur la productivité.

En fait, ce débat sur l'introduction des TIC dans les processus de production se concentre essentiellement autour des problèmes liés au développement de l'informatique. Le terme TIC désigne une large gamme de technologie qui va de l'ordinateur et de ses logiciels (micro-informatique et traitement de texte, de bases de données, etc) à la caisse enregistreuse des grandes surfaces (gestion commerciale en temps réel) et aux technologies de fabrication avancées utilisées dans l'industrie (machines à commandes numériques, automates et robots). Les TIC peuvent donc se matérialiser par de nouveaux équipements ou alors s'incorporer à des machines déjà existantes en transformant leur mode de fonctionnement et en permettant la programmation et l'échange de données.

Le plan suivi dans ce travail est le suivant. Après avoir exposé les fondements théoriques sur lesquels reposent les différentes approches économétriques, nous discuterons les problèmes rencontrés lors de l'analyse de la diffusion des TIC sur la

---

<sup>2</sup> Du moins, telle qu'elle peut être mesurée dans les études statistiques.

performance des entreprises. Puis, nous présenterons les principaux résultats obtenus à partir des études empiriques réalisées en France.

## 2. FONDEMENTS THEORIQUES ET APPROCHES ECONOMETRIQUES.

Les fondements théoriques des approches qui tentent de mesurer l'impact des TIC en termes de productivité s'appuient sur le modèle néo-classique de la fonction de production. On considère, ici, toujours les deux facteurs de production de base que sont le capital et le travail, mais on introduit dans ces deux facteurs des éléments représentatifs de l'évolution technologique, à savoir pour la main d'oeuvre, les utilisateurs de ces nouvelles technologies, et pour le capital, le capital technologique. A partir de là, nous pouvons distinguer deux approches fondamentales, l'une à partir d'une fonction de coût translog quasi-fixe, l'autre à partir d'une fonction de production de type Cobb-Douglas.

### 2.1 Approche à l'aide d'une fonction de coût translog quasi-fixe<sup>3</sup>.

Cette approche repose essentiellement sur des études anglo-saxonnes [Adams (1997), Bartel and Lichtenberg (1987)]. La fonction de coût translog a été introduite par Christensen, Jorgenson et Lau (1973) puis développée par Brown et Christensen (1981) avec des facteurs quasi-fixes<sup>4</sup>.

D'une manière générale, on considère une fonction de coût translog avec trois facteurs de production variables (les travailleurs qualifiés, les non qualifiés et l'équipement) et deux facteurs quasi-fixes (le capital physique, K, et le capital technologique, R). Elle se présente de la façon suivante:

$$\begin{aligned} \ln C = & \alpha_0 + \sum_h \sum_{i=(B,W,M)} \alpha_{hi} D_h \ln w_i + \sum_{i,j=(B,W,M)} \beta_{ij} \ln w_i \ln w_j + \beta_q \ln q \\ & + \sum_{i=(B,W,M)} \beta_{iq} \ln w_i \ln q + \beta_k \ln K + \sum_{i=(B,W,M)} \beta_{iK} \ln w_i \ln K \quad [1] \\ & + \beta_R \ln R + \sum_{i=(B,W,M)} \beta_{iR} \ln w_i \ln R \end{aligned}$$

où - C représente le montant des coûts pour le personnel non qualifié (B: Blue collar), le personnel qualifié (W: White collar) et l'équipement (M: Material);

- les paramètres  $\alpha$  mesurent les effets-prix de la i-ème variable input,

-  $D_h$  est une variable dichotomique qui représente le secteur industriel ( $D_h = 1$  si l'entreprise est dans h-ième secteur industriel,  $D_h = 0$  dans le cas contraire),

- les paramètres  $\beta$  mesurent les effets du prix des autres facteurs (w), du log de la production (q), de la technologie (R) et du stock de capital (K) sur le coût total.

<sup>3</sup>Cette section s'inspire d'une présentation de la fonction de coût translog quasi-fixe par L. Chennells et J. Van Reenen (1998) et J.D. Adams (1997).

<sup>4</sup>Les méthodes d'estimations de ces fonctions sont présentées dans Berndt (1990).

La fonction de coût [1] est une fonction homogène de degré 1 par rapport au prix des facteurs, nous pouvons donc écrire que:

$$\sum_{i=(B,W,M)} \alpha_{hi} = \sum_h \sum_{i=(B,W,M)} \alpha_{hi} D_h = 1,$$

et

[2]

$$\sum_{i=(B,W,M)} \beta_{ij} = \sum_{j=(B,W,M)} \beta_{ij} = \sum_{i,j=(B,W,M)} \beta_{ij} = \sum_{i=(B,W,M)} \beta_{iK} = \sum_{i=(B,W,M)} \beta_{iR} = 0$$

Ces contraintes d'homogénéité [2] permettent une normalisation de la fonction [1] par un des coûts des facteurs ( $w$ )<sup>5</sup>. En retenant comme norme le prix des équipements ( $w_M=1$ ), on obtient un fonction de coût translog normalisée où les coûts (relatifs au coût des équipements) sont fonction des prix des facteurs, de la production, du capital, de la technologie et de leurs interactions respectives.

Ainsi, la part des coûts  $S_i$  de chacun des facteurs  $i$  est donnée:

pour les travailleurs sans qualification par:

$$S_B = \alpha_B + \sum_{i=B,W} \beta_B \ln \left( \frac{w_i}{w_M} \right) + \beta_{Bq} \ln q + \beta_{BK} \ln K + \beta_{BR} \ln R + \varepsilon_B \quad [3a]$$

pour les travailleurs qualifiés par:

$$S_W = \alpha_W + \sum_{i=B,W} \beta_W \ln \left( \frac{w_i}{w_M} \right) + \beta_{Wq} \ln q + \beta_{WK} \ln K + \beta_{WR} \ln R + \varepsilon_W \quad [3b]$$

$\varepsilon_B$  et  $\varepsilon_W$  représentent les termes d'erreurs aléatoires des modèles. De plus, l'expression du coût des équipements n'apparaît pas car ce coût est égale à un.

En retenant la restriction linéaire suivante:

$$\beta_{iq} + \beta_{iR} + \beta_{iK} = 0^6 \quad \text{avec } i = B, W$$

les équations [3a] et [3b] se simplifient de la façon suivante:

---

<sup>5</sup>On se sert également ici du fait que  $\alpha_{hM} = 1 - \alpha_{hB} - \alpha_{hW}$  et  $\beta_{Mi} = -(\beta_{Bi} + \beta_{Wi})$ .

<sup>6</sup>Cette contrainte linéaire revient à tester la structure homothétique de la fonction de production, autrement dit, de l'indépendance du coût des facteurs par rapport au niveau de production,  $q$ , et des facteurs quasi-fixes,  $K$  et  $R$ .

pour les travailleurs sans qualification par:

$$S_B = \alpha_B + \sum_{i=B,W} \beta_B \ln\left(\frac{w_i}{w_M}\right) + \beta_{BK} \ln\left(\frac{K}{q}\right) + \beta_{BR} \ln\left(\frac{R}{q}\right) + \varepsilon_B \quad [4a]$$

pour les travailleurs qualifiés par:

$$S_W = \alpha_W + \sum_{i=B,W} \beta_W \ln\left(\frac{w_i}{w_M}\right) + \beta_{WK} \ln\left(\frac{K}{q}\right) + \beta_{WR} \ln\left(\frac{R}{q}\right) + \varepsilon_W \quad [4b]$$

On peut, dès lors, calculer à partir de ces deux équations les élasticités de substitution et de complémentarité. En terme d'interprétation, si  $\beta_{WR} > 0$  et  $\beta_{BR} > 0$ , on peut affirmer que la technologie est biaisée par le travail; si  $\beta_{WR} > 0$  et  $\beta_{BR} < 0$ , alors la technologie est biaisée par le travail qualifié. On a dans ce cas un biais de qualification.

Une autre version du modèle [4b] peut être utilisée, plus simple, dans laquelle la variable dépendante représente la part des travailleurs qualifiés dans les salaires. L'équation de la demande du facteur emploi qualifié devient alors:

$$S_W = \alpha_W + \beta_W \ln\left(\frac{w_W}{w_B}\right) + \beta_{WK} \ln\left(\frac{K}{VA}\right) + \beta_{WR} \ln\left(\frac{R}{VA}\right) + \varepsilon_W \quad [5]$$

où la valeur ajoutée (VA) des entreprises est retenue comme mesure de la production  $q$ .

Encore une fois, dans ce modèle, la présence d'un coefficient  $\beta_{WR}$  positif indique un biais technologique.

Le terme  $\alpha_W$  peut être supposé proche de un et se justifie pour prévenir les erreurs soit dans les techniques mises en place pour l'optimisation<sup>7</sup>, soit dans la mesure des variables. De plus, il faut souligner la difficulté de mesurer précisément les coûts du capital physique et du capital technologique qui peuvent, parfois être considérés, séparément, comme effet variable ou comme effet fixe. Pour ces raisons, il est essentiel de contrôler les effets fixes en minimisant leur importance. Pour cela, on peut estimer l'équation [5] en terme de différence (variation) plus ou moins longue. Le modèle s'écrit alors:

$$\Delta S_W = \alpha_W + \beta_W \Delta \ln\left(\frac{w_W}{w_B}\right) + \beta_{WK} \Delta \ln\left(\frac{K}{VA}\right) + \beta_{WR} \Delta \ln\left(\frac{R}{VA}\right) + t + \varepsilon_W \quad [6]$$

où  $t$  représente des variables muettes temporelles et  $\varepsilon_W$ , le terme d'erreur.

Toutefois, ce modèle requière des données longitudinales qu'il n'est pas toujours évident d'observer.

---

<sup>7</sup>Les estimateurs obtenus par la méthode OLS ne peuvent être considérés comme des estimateurs convergents et sans biais car le terme d'erreur est le plus souvent corrélé avec les variables exogènes.

Il existe bien sûr d'autres problèmes, mais n'étant pas spécifiquement liés à ces modèles, nous les aborderons dans une section à venir.

## 2.2 Approche à l'aide d'une fonction de production de type Cobb-Douglas.

Cette seconde approche, à l'aide d'une fonction de production traditionnelle de type Cobb-Douglas, a été jusque-là essentiellement utilisée pour des études françaises sur données individuelles d'entreprises [Bensaid, Greenan et Mairesse (1996, 1997, 1998), Greenan et Mairesse (1996)].

Le cadre d'analyse est donc celui du modèle néo-classique de production qui considère la fonction Cobb-Douglas suivante:

$$Y = A\tilde{K}^\alpha \tilde{L}^\beta \quad \text{ou} \quad \ln Y = \ln A + \alpha \ln \tilde{K} + \beta \ln \tilde{L} \quad [7]$$

avec

- Y, la production mesurée par la valeur ajoutée;
- $\tilde{K}$ , le capital physique évalué en appliquant une correction de revalorisation aux immobilisations corporelles brutes inscrites au bilan des entreprises;
- $\tilde{L}$ , le travail efficace représenté par les effectifs totaux L multipliés par un indicateur d'efficacité qui tient compte de la qualification et de la fonction exercée du personnel (notées CP, CA, EP et EA)<sup>8</sup>.

De façon plus précise, on retient pour  $\tilde{L}$ :

$$\tilde{L} = L \cdot \tilde{E} \quad \text{avec} \quad \tilde{E} = \gamma_{CA} P_{CA} + \gamma_{CP} P_{CP} + \gamma_{EA} P_{EA} + P_{EP} \quad [8]$$

et où  $P_{CA} = CA/L$ ,  $P_{CP} = CP/L$ ,  $P_{EA} = EA/L$ ,  $P_{EP} = EP/L$ , sont les proportions des quatre catégories d'emplois retenues.

$\gamma_{CA}$ ,  $\gamma_{CP}$ ,  $\gamma_{EA}$  sont des paramètres « d'efficience relative » pour les trois premières catégories par rapport à la quatrième considérée comme référence ( $\gamma_{EP}=1$ ).

L'originalité de cette modélisation est de considérer explicitement comme autres facteurs de production les savoirs spécifiques liés à la diffusion des nouvelles technologies. Ces savoirs peuvent se concentrer autour de quatre grandes fonctions au sein des entreprises: les personnels de recherche (R&D), les personnels chargés des études (ET), les personnels attachés aux matériels informatiques (INF) et aux matériels incorporant de l'électronique (ELEC). Suivant ces quatre nouvelles distinctions dans les personnels, on peut retenir deux spécifications différentes.

---

<sup>8</sup>Afin de tenir compte des structures de qualification et de fonction des personnels, deux grandes distinctions sont retenues permettant de les classer en quatre grandes catégories: CA, CP, EA et EP. Ainsi, on peut distinguer les personnels de « conception » (C), qui occupent une position d'encadrement, et ceux d'« exécution » (E), subordonnés aux premiers et moins diplômés. On distingue également les emplois occupés pour la production (P), au sens de production de biens matériels ou de services, de ceux occupés pour l'administratif et le commercial (A).

La première, linéaire par rapport aux paramètres d'intérêt notés  $\delta$ , revient à adopter une autre mesure du travail efficace qui tient compte de l'importance relative de ces personnels à l'intérieur des quatre grandes catégories de postes. On note:

$$\tilde{L} = L \cdot \tilde{E}$$

avec

$$\begin{aligned} \tilde{E} = & \gamma_{CA} \left( \delta_{R\&DCA} P_{R\&DCA} + \delta_{ETCA} P_{ETCA} + P_{RCA} \right) \\ & + \gamma_{CP} \left( \delta_{R\&DCP} P_{R\&DCP} + \delta_{ETCP} P_{ETCP} + \delta_{INFCP} P_{INFCP} + \delta_{ELECCP} P_{ELECCP} + P_{RCP} \right) \\ & + \gamma_{EA} \left( \delta_{ETEA} P_{ETEA} + \delta_{INFEA} P_{INFEA} + P_{REA} \right) \\ & + \left( \delta_{R\&DEP} P_{R\&DEP} + \delta_{ETEP} P_{ETEP} + \delta_{ELECEP} P_{ELECEP} + P_{REP} \right) \end{aligned} \quad [9]$$

et où  $P_{R\&DCA}$ , ...,  $P_{ELECEP}$  sont les proportions des personnels considérés dans les quatre grandes familles et  $P_{RCA}$ , ...,  $P_{REP}$  sont les quatre proportions des autres travailleurs<sup>9</sup>.

$\delta_{R\&DCA}$ ,  $\delta_{ETCA}$ , ...,  $\delta_{ELECEP}$  sont les paramètres « d'efficience relative » des personnels considérés ( $\delta_{RCA} = \delta_{RCP} = \delta_{REA} = \delta_{REP} = 1$ ).

La seconde spécification est linéaire par rapport à des paramètres d'intérêt notés  $\lambda$ . Elle revient à spécifier non plus le travail efficace mais le terme A, dit de progrès technique autonome ou de productivité totale des facteurs, comme une fonction de l'importance relative de ces personnels. On pose alors:

$$\ln A = \lambda_{R\&DCA} P_{R\&DCA} + \lambda_{ETCA} P_{ETCA} + \dots + \lambda_{ELECEP} P_{ELECEP} \quad [10]$$

avec  $\lambda_{R\&DCA}$ ,  $\lambda_{ETCA}$ , ...,  $\lambda_{ELECEP}$ , représentant les paramètres « d'impact » ou « d'incidence » sur la productivité totale des facteurs. Ils mesurent directement l'impact sur la productivité d'une substitution entre les personnels détenteurs du savoir et les autres personnels. Leur expression par rapport aux paramètres  $\delta$  d'efficience relative de la première spécification [9] peuvent s'écrire de la façon suivante:

$$\lambda_{R\&DCA} = \beta \gamma_{CA} \left( \delta_{R\&DCA} - 1 \right) / \tilde{E}, \quad \dots, \quad \lambda_{ELECEP} = \beta \left( \delta_{ELECEP} - 1 \right) / \tilde{E}$$

---

<sup>9</sup>  $P_{R\&DCA} = R\&D_{CA}/L$ , ...,  $P_{ELECEP} = ELEC_{EP}/L$  et  $P_{RCA} = R_{CA}/L$ , ...,  $P_{REP} = R_{EP}/L$

Une autre approche consiste à intégrer le progrès technique A, que l'on peut alors caractériser par la diffusion des TIC, dans les deux composantes (le capital et le travail) de la fonction de production [7]. La fonction s'écrit alors:

$$Y = \tilde{K}^\alpha \tilde{L}^\beta, \quad [11]$$

et la méthode consiste à introduire des facteurs d'hétérogénéité pour le capital et pour le travail. De la sorte, on distingue le personnel utilisateur de ces nouvelles technologies ( $L_T$ ) du reste du personnel ( $L_R$ ), le capital technologique ( $K_T$ ) des autres immobilisations ( $K_R$ ). On a donc

$$\begin{cases} L = L_T + L_R \\ K = K_T + K_R \end{cases} \quad \text{et} \quad \begin{cases} L_R = L - L_T \\ K_R = K - K_T \end{cases} \quad [12]$$

où K représente le total des immobilisations corporelles et L, l'ensemble du personnel.

$\tilde{K}$  et  $\tilde{L}$  s'écrivent alors sous forme d'une somme pondérée des différents éléments qui les constituent. Le coefficient de pondération mesure le rapport entre la productivité marginale d'une des composantes et la productivité marginale d'une composante de référence (ici  $L_R$  et  $K_R$ ). On obtient avec les relations [11]:

$$\begin{cases} \tilde{L} = \gamma_T L_T + L_R = L + (\gamma_T - 1)L_T = L \left( 1 + (\gamma_T - 1) \frac{L_T}{L} \right) \\ \tilde{K} = \delta_T K_T + K_R = K + (\delta_T - 1)K_T = K \left( 1 + (\delta_T - 1) \frac{K_T}{K} \right) \end{cases} \quad [13]$$

En considérant le logarithme de la fonction [11] et l'approximation  $\ln(1+x) \approx x$ , on estime la fonction de production suivante:

$$y = \alpha \left( l + (\gamma_T - 1) \frac{L_T}{L} \right) + \beta \left( k + (\delta_T - 1) \frac{K_T}{K} \right) \quad [14]$$

avec  $y = \ln Y$ ,  $l = \ln L$  et  $k = \ln K$ .

### 3. PROBLEMES ECONOMETRIQUES.

Les problèmes rencontrés lors de l'analyse de l'impact des TIC sur la productivité des facteurs ne sont pas véritablement des problèmes économétriques au sens où on l'entend habituellement mais plutôt des problèmes liés au choix du modèle dans lequel la mesure de la technologie peut s'avérer difficile à définir. En effet, le facteur technologique est un concept assez flou dont la mesure est rendue très difficile. D'une façon traditionnelle, cette mesure est considérée dans sa dimension temporelle, c'est à dire par l'intermédiaire d'un trend<sup>10</sup>. Le seul problème, ici, est que ce trend capte certainement d'autres effets que ceux liés aux changements technologiques, tels que l'évolution des prix, de la demande, des coûts, etc. Ces critiques portent en fait sur l'utilisation de la

---

<sup>10</sup>voir modèle [6].

productivité totale des facteurs (TFP) comme mesure de la technologie. Toutefois, on peut distinguer entre trois types de mesure du facteur technologique:

- les connaissances ou les savoirs qui interviennent dans la fonction de production (inputs),
- les connaissances ou les savoirs qui sont issus de la fonction de production (outputs),
- la diffusion des outputs dans l'économie.

Le premier point est généralement mesuré par les dépenses en matière de R&D. Ces données ont l'avantage d'être présentes dans la plupart des bases de données sur les entreprises.

Les licences ou les brevets sont principalement utilisés pour mesurer les outputs issus des connaissances et du savoir-faire. Le problème avec les licences est qu'une grande partie d'entre elles ont une très faible valeur et qu'il n'existe pas de méthode satisfaisante pour les prendre en compte.

Quant au troisième point, la mesure de la diffusion de ces connaissances semble étroitement liée à ce que l'on pense être ou ce que l'on appelle technologie. L'exemple le plus flagrant est celui de l'utilisation des ordinateurs dans les entreprises. La question qui se pose alors est: quelles technologies considérer pour la mesure, quels types d'ordinateurs retenir, quels types de technologies de fabrication considérer et comment les pondérer dans la mesure.

La méthode la plus satisfaisante semble être de construire le stock de capital de ces nouvelles technologies, même si cette mesure est très difficile à réaliser aujourd'hui avec les nouvelles organisations des entreprises.

La mesure des qualifications est moins controversée et on peut distinguer deux façons de procéder.

La plus communément rencontrée est de faire appel à des indicateurs d'occupation d'emploi. Certains auteurs comme Adams (1997) retiennent comme indicateurs les proportions des travailleurs manuels (attachés à la production, « *blue collar labour* ») et des non manuels (non attachés à la production, « *white collar labour* »). L'inconvénient de cette méthode est bien sûr de considérer les travailleurs manuels comme étant moins qualifiés. D'autres encore [ Bensaid et al. (1996, 1997), Greenan N. et J. Mairesse (1996)] ont développé des indicateurs basés sur la structure des qualifications et des fonctions par emploi occupé. Si cette méthode semble plus réaliste, il n'en demeure pas moins que les différentes catégories d'emplois retenues risquent de ne pas être comparables dans le temps et par pays.

La seconde façon de procéder consiste à établir une double prise en compte. En effet, les activités innovantes sont généralement marquées par une prédominance du facteur travail et font appel à de la main d'oeuvre très qualifiée. C'est le cas par exemple des activités de R&D qui supportent des coûts de main d'oeuvre très importants alors que les coûts en matière de capital sont plutôt réduits. Ce phénomène entraîne automatiquement une corrélation positive entre le niveau de qualification (et donc un meilleur salaire) et le niveau de R&D.

Enfin un dernier problème fondamental se rencontre à propos de l'endogénéité. C'est à dire que les entreprises peuvent toujours changer de technologie en réponse à un changement dans les savoir-faire, plutôt que l'inverse. Par exemple, on cherche à vérifier que les entreprises qui augmentent leur dépenses en informatique deviennent plus productive. Ici, on explique la croissance de la productivité par l'augmentation des dépenses informatiques grâce à une régression simple. Si ce sont les entreprises les plus productives qui augmentent le plus leurs dépenses informatiques, le coefficient associé à l'informatique dans l'équation sera caractérisé par un biais d'endogénéité. Autrement dit, les dépenses en informatique ne sont pas exogènes comme on le supposait au départ mais endogènes car elles dépendent de la productivité. Ce biais peut être corrigé en développant des variables instrumentales afin de considérer la simultanéité des prises de décision. Mais, ces instruments ne sont pas faciles à construire.

#### **4. LES PRINCIPAUX RESULTATS.**

Dans cette section, nous allons donner les principaux résultats des études empiriques réalisées en France qui ont toutes la particularité d'avoir été réalisées sur données individuelles d'entreprises plutôt que sur données macro-économiques ou sectorielles. Ces études puisent leurs informations dans les enquêtes sur les techniques et l'organisation du travail (TOTTO 1987, 1993), l'enquête conditions de travail (1991), dans les données de déclarations fiscales sur les entreprises (données BIC) issues de la base SUSE 1986 et 1992 et les données de l'Enquête sur la Structure des Emplois (ESE 1986 et 1992). Elles montrent toutes un impact positif de la diffusion des TIC sur la productivité du travail. Toutefois, ce résultat n'apparaît que lorsque l'on compare des entreprises entre elles à une même date (analyse en coupe).

En particulier, en corrélant le taux d'équipement informatique avec des indicateurs de performance, Greenan et Mairesse (1996) montrent que « *les effets de la diffusion des ordinateurs dans le tissu économique sont (...) loin d'être négligeables, et s'ils sont parfois non significatifs, ils sont la plupart du temps positifs lorsque l'on considère des effets directs moyens sur la performance des entreprises* ».

Dans une seconde étude, Bensaid, Greenan et Mairesse (1997) mettent en avant les liens entre les savoirs liés aux TIC et la productivité. Pour cela, ils comparent l'impact de ces connaissances avec l'effet d'autres savoirs tels que ceux liés aux études et à la recherche, dont l'influence positive sur la productivité est aujourd'hui bien connue. Leurs résultats, que l'on retrouve également dans des études américaines [Brynjolfsson et Hitt (1993), Lichtenberg (1995)], font apparaître que « *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, ces effets positifs de la diffusion des TIC sur la productivité des entreprises sont remis en cause lorsque l'on passe sur données agrégées [Siegel (1997), Greenan et Mangematin (1997), Oliner et Sichel (1994)]. Toutes les études montrent une absence d'effet, voire un effet négatif, des TIC sur la productivité.

Pourquoi existe-t-il un tel décalage entre les résultats micro-économiques et ceux obtenus à partir de données sectorielles ou macro-économiques? Plusieurs réponses peuvent être apportées.

Tout d'abord, ce décalage peut s'expliquer en partie par le biais d'endogénéité (cf. supra) qui surestime l'effet des TIC sur la productivité. Ce sont les entreprises déjà les plus performantes qui investissent le plus en TIC.

Ensuite, les entreprises ayant le plus investi dans ces nouvelles technologies n'ont sans doute pas de poids économique suffisamment important pour que leurs nouvelles performances apparaissent dans les données macro-économiques. De plus, ces nouveaux gains de productivité peuvent se faire au détriment d'autres entreprises pour aboutir en fin de compte à un jeu à somme nulle.

Une autre explication peut être apportée par le fait que la diffusion des TIC dans l'économie est quelque chose de relativement nouveau. Par conséquent, la dimension première explorée sur données agrégées étant la dimension temporelle, ce genre d'étude peut très bien ne pas encore capter les gains induits par ces nouvelles technologies.

Enfin, les données macro-économiques et les données individuelles d'entreprises ne prennent pas en compte les mêmes choses. Comme le souligne N. Greenan « *la prise en compte des évolutions de prix est le problème central des études menées sur données longitudinales (...) alors que la sous-estimation des investissements en TIC affecte les données individuelles d'entreprise utilisées dans les études en coupe. Dans le second cas, la sous-estimation des inputs informatiques surestime leur effet sur la productivité. Dans le premier cas, il est plus difficile de dire dans quel sens jouent les erreurs de mesure (...)* ».

## 5. CONCLUSION.

L'exposé qui est fait, ici, sur la méthodologie économétrique pour analyser les conséquences de la diffusion des TIC sur la productivité, nous inspire deux sortes de commentaires.

Tout d'abord, les réponses apportées dans la section précédente sur la question du décalage des résultats obtenus sur données micro-économiques de ceux obtenus sur données agrégées ne sont pas suffisantes. D'autres mécanismes, plus complexes, peuvent expliquer le paradoxe de productivité. Au-delà des problèmes de mesure et de suivi des coûts qu'impliquent la diffusion des TIC, il apparaît de plus en plus évident que les relations intra et interorganisationnelles entre les acteurs économiques se trouvent modifiées. Ces changements organisationnels répondent à une logique propre indépendante du processus de production. Aujourd'hui, des chercheurs tentent « *de clarifier le rôle de l'organisation comme élément médiateur entre la diffusion des TIC et la productivité des entreprises* » [Caby, Greenan, Gueissaz et Rallet (1998)]. Maintenant, avec la mise en évidence de ce facteur organisationnel comme un des éléments explicatifs du paradoxe de productivité, l'approche néo-classique à partir de fonctions de production ou de coûts apparaît mal appropriée. Il convient donc de trouver de meilleures spécifications pour modéliser les effets de la diffusion des TIC [Griliches et Mairesse (1997)].

Enfin, le domaine empirique reste pauvre et il existe encore énormément d'études à réaliser sur le thème des liens entre les TIC et la performance des entreprises. N. Greenan, dans la conclusion de son rapport, précise qu'un « *certain nombre d'études empiriques pourraient être réalisées en s'appuyant sur une information statistique d'ores et déjà disponible* » et en travaillant aux niveaux individuel, sectoriel et macro-économique « *afin de décomposer les effets d'agrégation* ». De plus, « *une partie des inputs associés aux TIC prenant la forme de consommations intermédiaires, (...), il*

*convient donc de travailler sur la production plutôt que sur la valeur ajoutée, en isolant les services intenses en connaissances dans les consommations intermédiaires* ». Ces propositions constituent des pistes possibles pour de futures recherches.

## BIBLIOGRAPHIE

- ADAMS J., 1997, *The structure of firm R&D and the factor intensity of production*, NBER working paper n° 6099, july.
- BARTEL A. and F. LICHTENBERG, 1987, *The comparative advantage of educated workers in implementing new technology*, Review of Economics and Statistics, 69, 343-359.
- BENSAID A., N. GREENAN et J. MAIRESSE, 1996, *Informatisation, emploi et productivité: une étude sur données de panel, industrie et services, 1986-1992*, Miméo Insee, avril.
- BENSAID A., N. GREENAN et J. MAIRESSE, 1997, *Informatisation, recherche et productivité*, Revue économique, vol. 48 n°3, pp 591-603.
- BRYNJOLFSSON E. Et L. HITT, 1993, *Is information spending productive? New evidence and new results*, MIT working paper, june, forthcoming in the *Proceeding of the 14th International Conference on Information Systems*.
- CABY L., N. GREENAN, A. GUEISSAZ, A. RALLET, 1998, *Informatisation, organisation et performances des entreprises: quelques propositions pour une modélisation*, à paraître dans Foray D. et Mairesse J., *Innovation et Performance*, Ed. De l'EHESS, octobre.
- CHENNELS L. and J. VAN REENEN, 1998, *Technical change and the structure of employment and wages: A survey of the micro-econometric evidence*, communication présentée à la conférence sur les Technologies de l'Information et de la Communication, emploi et salaires, 22-23 juin, Nice, France.
- GREENAN N., 1998, *Technologies de l'information et de la communication, Productivité et emploi: deux paradoxes*, rapport de l'atelier présidé par P. Petit pour le Commissariat Général au Plan sur le thème « Performances économiques, emploi et qualifications », à paraître, mai.
- GREENAN N. et J. MAIRESSE, 1996, *Computer and productivity in France: Some evidence*, NBER working paper n° 5836, november.
- GREENAN N., J. MAIRESSE et A. TOPIOL-BENSAID, 1998, *Computerization and R&D: Links connecting skills, average salaries and productivity, A study of French level data*, unpublished paper, mai.
- GREENAN N. et V. MANGEMATIN, 1997, *Informatisation, organisation et performances: autour du paradoxe de la productivité*, à paraître dans un numéro à 3 labels: Revue économique, Sociologie du travail, Revue française de gestion.
- GRILICHES Z. and J. MAIRESSE, 1997, *Production functions: The search for identification*, document de travail du CREST n° 9730, Insee, august.
- LICHTENBERG F., 1995, *The output contributions of computer equipment and personnel: a firm-level analysis*, Economics of innovation and new technology, special issue on information technology and the productivity paradox, vol. 3, n° 3-4, pp 201-218.
- OLINER S. D. et SICHEL D. E., 1994, *Computers and output growth revisited: How big is the puzzle*, Brookings Papers on Economic Activity, n° 2.
- SIEGEL D., 1997, *The impact of computers on manufacturing productivity growth: A multipl-indicators, multiple-causes approach*, Review of economics and statistics, vol. LXXIX, n° 1, february.