

INVESTISSEMENTS EN TIC ET PRODUCTIVITÉ DU TRAVAIL AU QUÉBEC

Par Jean-François Landry

Directrice de recherche :

Emanuela Cardia

**Faculté des Arts et des Sciences
Département des sciences économiques**

**Université de Montréal
Décembre 2007**

Sommaire

L'arrivée des nouvelles technologies dans l'environnement de travail des firmes occidentales a modifié les façons de faire des travailleurs. Ces derniers ont en effet pu exécuter leurs tâches avec de nouveaux équipements, réputés pour être plus rapides et plus efficaces. Cette recherche a pour but de mesurer les gains de productivité du travail au Québec qui découlent de cet approfondissement en capital de technologies de l'information et de la communication (TIC). En utilisant le modèle de croissance néoclassique de Solow (1957), il est question d'évaluer l'apport direct des investissements en TIC, de même que celui des externalités réseau qui leur sont rattachées. Cette estimation est faite au point de vue macroéconomique, de même que par secteur industriel pour la période 1990-2005. Nos calculs évaluent une contribution annuelle moyenne de 0,3 point de pourcentage du capital en TIC, soit 23% de la croissance de la productivité du travail. Nos estimés économétriques rapportent quant à eux une élasticité de 0,0389 avec la méthode des MCO, mais non significative lors de l'emploi de variables instrumentales. De plus, nos travaux ne révèlent pas de contribution significative du capital en TIC à la croissance de la productivité multifactorielle, nous obligeant à écarter l'existence d'externalités de réseau. Les TIC auraient ainsi eu un rôle significatif sur la croissance de la productivité du travail au Québec, sans toutefois pouvoir être considérées comme seules responsables.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	1
TABLE DES MATIÈRES	2
LISTE DES TABLEAUX ET GRAPHIQUES	3
I. INTRODUCTION.....	4
II. INFORMATIONS PERTINENTES	6
2.1 LES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION	6
2.2. CHOIX DE L'ÉCONOMIE ET DE LA PÉRIODE	6
2.2. PROVENANCE DES DONNÉES	7
III. REVUE DE LA LITTÉRATURE	9
3.1 LE PARADOXE DE SOLOW	9
3.2 LE MODÈLE DE CROISSANCE NÉOCLASSIQUE DE SOLOW (1956)	11
3.3 BRYNJOLFSSON ET HITT (1994).....	13
3.4.JORGENSEN ET STIROH (2001)	13
3.5 OLINER ET SICHEL (2002).....	15
3.6. GORDON (2000).....	15
3.7. AUTRES ARTICLES	16
IV. MÉTHODOLOGIE	17
4.1 LE MODÈLE DE CROISSANCE NÉOCLASSIQUE	18
4.2 LE MODÈLE NÉOCLASSIQUE APPLIQUÉ À LA CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ DU TRAVAIL	19
4.3 LES MESURES DU CAPITAL, DU TRAVAIL ET DE L'ÉLASTICITÉ DES INPUTS	21
4.3.1 <i>Le capital en TIC et Hors-TIC</i>	22
4.3.2 <i>Le travail</i>	22
4.3.3 <i>Les élasticités des inputs</i>	25
V. RÉSULTATS EMPIRIQUES.....	25
5.1. LA CONTRIBUTION DIRECTE DES INVESTISSEMENTS EN TIC SELON LE MODÈLE NÉOCLASSIQUE	26
5.1.1 <i>Résultats au point de vue macro</i>	26
5.1.2 <i>Résultats au niveau des secteurs industriels</i>	27
5.2 ESTIMATION ÉCONOMÉTRIQUE DES ÉLASTICITÉS	28
5.3 LA CONTRIBUTION DES EXTERNALITÉS RÉSEAUX	29
VI. CONCLUSION	32
BIBLIOGRAPHIE	33
REMERCIEMENTS.....	35
ANNEXES.....	36

LISTE DES TABLEAUX ET GRAPHIQUES

TABLEAU 1 : COMPOSITION DES DIFFÉRENTES CATÉGORIES DE TRAVAILLEURS...	35
TABLEAU 2 : TAUX DE CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ DU TRAVAIL ET LES CONTRIBUTIONS DE L'INTENSITÉ DU CAPITAL EN TIC, DU CAPITAL HORS-TIC, DE LA COMPOSITION DE LA MAIN D'ŒUVRE ET DE LA PRODUCTIVITÉ MULTIFACTORIELLE POUR L'ENSEMBLE DE L'ÉCONOMIE DU QUÉBEC	36
GRAPHIQUE 1 : CONTRIBUTION DU CAPITAL EN TIC À LA CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ DU TRAVAIL AU QUÉBEC ENTRE 1990 ET 2005.....	37
GRAPHIQUE 2 : SOURCES DE CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ DU TRAVAIL AU QUÉBEC ENTRE 1990 ET 2005	38
GRAPHIQUE 3: UTILISATION DES TIC ET CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ (1990-2005).....	39
TABLEAU 3 : UTILISATION DES TIC ET CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ DANS LES SECTEURS INDUSTRIELS (1990-2005).....	40
TABLEAU 4 : RÉGRESSION DE LA CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ DU TRAVAIL SUR LES CROISSANCES DE L'INTENSITÉ EN CAPITAL TIC, L'INTENSITÉ EN CAPITAL HORS-TIC ET LA COMPOSITION DE LA MAIN D'ŒUVRE.....	41
TABLEAU 5 : RÉGRESSION DE LA CROISSANCE DU PROGRÈS TECHNOLOGIQUE SUR LES CROISSANCES DE L'INTENSITÉ EN CAPITAL TIC, L'INTENSITÉ EN CAPITAL HORS-TIC ET LA COMPOSITION DE LA MAIN D'ŒUVRE	42

I. Introduction

Après une décennie de stagnation durant les années '80, la productivité du travail au Québec a enregistré une progression soutenue entre 1990 et 2001. En effet, sa croissance fut de plus de 20% entre ces deux années, et à une moyenne annuelle de 2,1%¹ durant la deuxième moitié de la décennie. Cette période fertile pour les gains de productivité est également reconnue pour avoir hébergé l'avènement de l'économie dite nouvelle, soit l'ère des technologies de l'information. En effet, c'est au cours de ce laps de temps qu'on vit l'émergence d'Internet, l'arrivée des télécopieurs et des téléphones cellulaires, de même que la chute des prix des ordinateurs² qui a propulsé leur utilisation à des niveaux records. Il n'était donc pas nécessaire de rassembler davantage d'éléments pour que l'on s'interroge sur le possible lien causal entre ces deux phénomènes qui se sont déroulés simultanément.

Du point de vue de plusieurs, les nouvelles technologies ont bouleversé la façon de faire des entreprises. La chute de leur prix relatif a poussé les firmes à procéder à une substitution des intrants, forçant leur adoption au détriment du capital conventionnel ou de la main d'œuvre. On a ainsi pu assister à une explosion de l'investissement en technologies de l'information et de communication (TIC) durant les années '90, jusqu'à l'éclatement de la bulle technologique en 2001. Au cours de cette période, la part du capital en TIC dans le stock de capital total pour le secteur des entreprises au Canada est passée de 1,2% à 8,9%³. Cette hausse relative d'un type de capital possédant des caractéristiques de rapidité, d'économie et d'efficacité devait ainsi forcément améliorer les méthodes de production, tant au niveau des entreprises qu'au point de vue de l'économie agrégée. C'est donc à partir de ce constat que provient l'intuition d'une hausse de productivité du travail suite à l'intégration des TIC dans le capital productif des firmes.

¹ Calculé par le Centre d'étude sur l'emploi et la technologie, (www.cetech.gouv.qc.ca) à partir des données de Statistique Canada. (1996-2001)

² Le prix des ordinateurs a chuté de 15% par année pour 1990-1995 et 28% pour 1995-1998 (Jorgenson, Stiroh 2001)

³ Centre d'étude sur les niveaux de vie

Par contre, les avis des économistes s'étant penchés sur ce phénomène divergent. En effet, si la grande majorité s'accorde pour dire que les TIC ont bel et bien eu un impact sur la productivité du travail dans le monde occidental, l'ampleur de leur contribution varie selon les spécialistes et les économies étudiées. En s'inspirant du modèle de croissance élaboré par Robert Solow (1956) employé par de nombreux chercheurs ayant mesuré l'apport des TIC pour diverses économies, notre recherche tentera de répondre à la question suivante : Quelle fut la contribution des investissements en technologies de l'information et de la communication à la croissance de la productivité du travail au Québec entre 1990 et 2005?

Afin de répondre à cette question, le travail se divisera de la façon suivante. Tout d'abord, la prochaine section présentera les informations pertinentes relatives à notre recherche. On y définira entre autre le concept de technologies de l'information et de la communication et discutera de la période choisie, de la provenance des données ainsi que des hypothèses de travail posées pour mener notre étude.

La section III, quant à elle, présentera une revue de la littérature sur le lien entre la productivité du travail et les technologies de l'information. On s'attardera particulièrement à un papier de Jorgenson et Stiroh (2000) qui ont étudié le phénomène aux États-Unis et sur lequel repose essentiellement notre démarche. On discutera de la méthodologie qu'ils ont utilisée et on présentera les résultats empiriques émanant de leurs travaux. Des articles concernant le modèle économique utilisé par Jorgenson et Stiroh (2000) seront également abordés, dont celui de Solow (1956) qui coïncide avec la naissance du modèle. De plus, les conclusions d'autres études menées selon plus ou moins la même méthodologie et sur différentes économies seront incluses dans cette section.

Faisant suite à la revue littéraire, la section IV élaborera de façon exhaustive la méthodologie employée pour mesurer l'apport des TIC aux gains de productivité. On présentera donc le modèle de même que la théorie économique qui y est rattachée. Les résultats empiriques seront quant à eux discutés à la section V.

Finalement, la recherche se terminera par une conclusion qui présentera une synthèse de nos résultats ainsi que les limites de nos travaux. D'autres pistes intéressantes à investiguer dans le futur seront aussi proposées.

II. Informations pertinentes

Avant de débiter la revue de la littérature, cette section vise à définir le concept de technologies de l'information et de la communication, de même que de situer l'étude d'un point de vue géographique et temporel. C'est aussi dans cette partie du travail que nous dévoilerons les différents types de données nécessaires à notre recherche de même que leur provenance.

Les technologies de l'information et de la communication

La conception et le déploiement des TIC constituent le fondement de la nouvelle économie. Les TIC forment la partie de l'économie qui acquière, traite, transforme et diffuse l'information. Elles sont formées de trois principales composantes, soient les ordinateurs et leurs périphériques, les logiciels informatiques, et les systèmes de communication. Ces derniers comprennent le matériel de transmission reliant les données, la voix et les terminaux vidéo au matériel de communication. On peut citer comme exemple pour cette composante les télécopieurs, téléphones cellulaires, systèmes de vidéoconférence et l'Internet.

Choix de l'économie et de la période

Tel que mentionné plus tôt, plusieurs études ont tenté de mesurer l'effet des TIC sur la productivité du travail dans différents pays. Dans le but d'approfondir les connaissances sur le phénomène, mais aussi pour comparer sa performance par rapport aux autres économies, cette recherche visera à effectuer le même exercice pour l'économie du Québec. Depuis le début des années '90, le gouvernement provincial a en effet adopté

multiples politiques liées au déploiement et au soutien de la nouvelle économie. Ces mesures visaient essentiellement à faciliter le financement des nouvelles firmes du secteur des TIC, à encourager la R&D et à inciter l'adoption technologique par l'ensemble des entreprises de l'économie. Les politiques mises de l'avant pour atteindre ce dernier objectif comprenaient notamment des crédits d'impôt en faveur de l'intégration des nouvelles technologies et des mesures d'amortissement accéléré s'appliquant aux investissements liés aux TIC. En observant l'explosion de l'utilisation des TIC au Québec au cours des années '90, on s'aperçoit que ces actions entreprises par le gouvernement semblent avoir été efficaces à ce point de vue. Par contre, l'innovation technologique n'étant pas une fin en soit, il sera pertinent de déterminer si ces politiques ont également engendré des bénéfices au niveau de l'économie réelle.

Contrairement à d'autres chercheurs qui n'ont considéré que le secteur des entreprises non agricoles, notre étude ciblera l'effet sur l'ensemble de l'économie québécoise. Quant au choix de la période, Jorgenson et Stiroh (2000) ont utilisé un horizon temporel assez large, soit de 1959 à 1998, mais divisé en plusieurs sous périodes. Harchaoui et Tarkhani (2004) ont quant à eux choisi les années 1988 à 2000. Pour des raisons logiques et pratiques, cette présente recherche étudiera la période 1990 à 2005. En effet, bien que la véritable explosion des investissements en TIC soit arrivée un peu plus tard, la croissance de sa part dans le capital des entreprises a réellement débuté au début des années 1990. De plus, un horizon large nous permettra de capter l'effet retardé des investissements en TIC et d'estimer les coefficients des régressions plus facilement.

Provenance des données

Les données nécessaires à l'étude ont été extraites de plusieurs sources différentes. Tout d'abord, pour mesurer la productivité du travail, qui se définit comme l'output par heure travaillée, nous avons choisi une mesure du PIB aux prix de base et en dollars constants de 1997 provenant de Statistique Canada. Comme ces derniers ne produisent plus ces données depuis 2001, le PIB des années subséquentes a été calculé grâce aux taux de

croissance du PIB aux prix de base et en dollars enchaînés. Les heures de travail proviennent quant à elles de l'Enquête sur la population active.

Le choix d'une mesure du PIB en dollars constants est conséquent aux données sur le capital fournies par les Comptes de la productivité de Statistique Canada qui sont également en dollars constants. Ces données sur le stock de capital ont été calculées selon la méthodologie de l'inventaire perpétuel, avec un amortissement géométrique infini.

En ce qui a trait aux données sur le capital en technologies de l'information et de la communication, elles proviennent du Centre d'étude sur les niveaux de vie. Ce dernier a utilisé un déflateur des prix du stock de capital en TIC qui capte les changements de qualité afin d'obtenir une estimation qui s'approche davantage de la réalité. Ainsi, grâce à ce déflateur, un ordinateur deux fois plus performant qu'un autre ayant été acheté au même prix mais quelques années auparavant, aura quand même un poids relatif deux fois plus élevé dans le stock de capital en TIC. Son impact sur la productivité sera ainsi calculé plus précisément.

Par contre, comme le Centre d'étude sur les niveaux de vie ne produit pas ces données pour le Québec et qu'aucune autre instance ne le fait, nous avons été dans l'obligation d'utiliser les proportions du capital en TIC au Canada pour déterminer celui du Québec. Plus précisément, nous avons calculé pour chacun des 18 secteurs industriels, la part du capital en TIC dans le stock de capital en machineries et équipements au Canada. Nous avons ensuite appliqué ces proportions pour calculer le capital en TIC au Québec pour chaque secteur industriel, et sommé le résultat pour obtenir le stock de capital en TIC total. Bien que rien ne soit assuré quand à un même niveau d'utilisation des TIC par les entreprises au Québec et au Canada, des données provenant de Statistique Canada montrent que le Québec n'est que légèrement en retard sur l'Ontario dans les services commerciaux⁴. Comme l'Ontario a tendance à investir davantage en TIC que le reste de

⁴ Pour l'Ontario, les TIC constituaient environ 7% des facteurs de production dans les services commerciaux en 1999, contre 6,5% au Québec. (Finances Québec)

l'économie canadienne, utiliser les proportions du Canada est donc la meilleure méthode que nous pouvions utiliser pour évaluer le stock de capital en TIC au Québec.

Pour ce qui est de la mesure de l'input travail, nous avons également eu besoin de données sur les salaires que nous avons tirées de l'EPA. Puisque les salaires n'ont commencé à être publiés qu'à partir de 1997, nous avons utilisé une moyenne des années publiées pour calculer les salaires relatifs entre travailleurs et secteurs industriels avant 1997. Cette façon de faire nous force à supposer que les salaires relatifs ont peu fluctué entre les différents types de travailleurs, classés selon leur niveau d'éducation, leur sexe et leur âge, au cours de la période étudiée.

Finalement, des données sur les revenus du travail au Québec provenant de la division des revenus et dépenses de Statistique Canada ont été utilisées pour calculer la part du facteur travail dans la fonction de production. C'est d'ailleurs cette fonction de production qu'ont utilisée Jorgenson et Stiroh (2000) ainsi que les autres études qui seront présentées à la section suivante.

III. Revue de littérature

Tel que mentionné plus tôt, cette partie passera en revue les articles sur lesquelles se base cette présente recherche, de même que les plus importantes études traitant des TIC et de la productivité du travail. On y parlera du paradoxe de Solow et de son modèle de croissance sur lequel sont basés les autres articles que nous présenterons, soit ceux de Jorgenson et Stiroh (2000), Oliner et Sichel (2002), Gordon (2000) et Harchaoui et Tarkhani (2004).

Le paradoxe de Solow

C'est depuis les années '80 que l'on tente de cerner le lien entre les technologies de l'information et la croissance de la productivité. À cette époque, l'intuition était que les TIC avaient un effet positif sur la productivité à long terme. En effet, de par leur rapidité, leur efficacité et leur plus faible coût, une utilisation intensive des TIC comme intrant

devait forcément mener à une production accrue pour une même quantité de travail. Toutefois, la croissance de la productivité du travail au cours des années '80 fut anémique au Canada tout comme aux Etats-Unis⁵, et les premières études empiriques menées sur la question n'ont pu trouver un effet significatif aux TIC sur la productivité. Le célèbre économiste Robert Solow mentionnait même que les technologies de l'information et de la communication étaient partout, sauf dans les données sur la productivité.⁶

Cette difficulté à établir un lien entre la productivité et les TIC semblait toutefois davantage reliée à des obstacles techniques qu'à une véritable absence de corrélation. En effet, Triplett (1999) a soulevé quelques raisons pouvant expliquer le paradoxe. Il mentionne entre autre le manque de statistiques sur l'utilisation des ordinateurs, le délai entre les investissements en TIC et leur effet sur la productivité du travail, la sous-estimation de l'output dans les secteurs de la finance et du commerce où l'utilisation des TIC est la plus forte, de même qu'un manque de mesure pour tout ce que les TIC produisent. Triplett (1999) justifie cette dernière explication par le fait que la nouvelle puissance des ordinateurs est souvent utilisée pour créer un environnement plus agréable à l'utilisateur mais qui n'ajoute pas nécessairement de valeur à son travail.

Brynjolfsson (1993) a pour sa part classé dans quatre catégories les raisons pouvant expliquer le paradoxe de Solow. Premièrement, tout comme Triplett (1999) il cite des problèmes techniques, tels les erreurs de mesure de l'output et de l'input. Brynjolfsson (1993) croit que les innovations rapides dans le domaine des TIC les ont rendus susceptibles aux erreurs de mesures dans le changement de qualité et dans l'évaluation des nouveaux produits. Ces problèmes de mesure seraient selon lui le cœur de l'explication du paradoxe. Cependant, Brynjolfsson (1993) soulève également le retard entre les investissements en TIC et leurs bénéfices. Cette problématique serait due aux changements organisationnels et à l'apprentissage nécessaire à l'usage des nouvelles technologies. Les deux autres raisons évoquées par Brynjolfsson (1993) comprennent la

⁵ Au Canada, la productivité du travail a cru à une moyenne annuelle de 1,1% durant les années '80, comparativement à 1,6% aux Etats-Unis (Centre d'étude sur les niveaux de vie)

⁶ Solow. Robert, « We'd better watch out », New York Times Book Review, July 12, 1987, p.36

redistribution des gains entre les firmes intensives en utilisation des TIC et celles qui investissent peu, de même que le laxisme des gestionnaires face à l'utilisation des nouvelles technologies. Selon lui, cette incompétence mènerait à des investissements en TIC qui augmentent davantage les relâchements organisationnels que la production et les profits.

Malgré les nombreuses raisons avancées pour démystifier le paradoxe de Solow, les erreurs de mesures du capital en TIC et de l'output que ce dernier génère semblent se définir comme la pierre angulaire de l'explication. Ce n'est donc qu'un peu plus tard, grâce à l'émergence de nouvelles données et de meilleures méthodes d'analyse, que des économistes sont parvenus à mesurer un impact des TIC sur la productivité. C'est d'ailleurs grâce au modèle de croissance élaborée par Solow lui-même que les chercheurs ont réussi à renverser le paradoxe.

Le modèle de croissance néoclassique de Solow (1956)

À la base, le modèle néo-classique élaboré par Solow (1956) était conçu pour expliquer la croissance économique. Grâce à des hypothèses de rendements d'échelle constants et d'une compétitivité parfaite dans le marché des facteurs de production menant à des prix qui égalent leur productivité marginale, son modèle réussit à expliquer parfaitement la croissance de l'output par la croissance des inputs et par un résidu équivalant au progrès technologique. Plus précisément, Solow (1956) avance que la croissance de l'output équivaut à l'addition de la croissance du stock de capital et de la croissance du facteur travail, tous deux pondérées par leur part respective dans la formation du revenu national, de même que par un résidu, qui équivaut à la croissance de la productivité multifactorielle. Ce dernier terme est le fruit du progrès technologique, qui permet à l'économie de produire un output plus important avec une même quantité d'input.

Solow (1956) a également manié son modèle afin d'expliquer la croissance de la productivité. En effet, en divisant toutes les variables de son modèle original par le nombre de travailleurs dans l'économie, il a montré que la productivité de ces derniers

était directement proportionnelle à l'intensité du capital, c'est-à-dire au volume d'équipement disponible pour chaque travailleur, de même qu'au progrès technologique qui engendrait un output plus grand par travailleur. Solow (1956) avait ainsi établi le lien direct entre l'investissement en capital et les gains de productivité.

Bien que le cadre néoclassique développé par Solow (1956) présente une simplicité intuitive, il comporte également certaines faiblesses non négligeables. En effet, comme l'accumulation de capital est assujettie à une productivité marginale décroissante, elle ne peut expliquer à elle seule la croissance de la productivité dans un horizon de long terme. Il faut donc se tourner vers la croissance de la productivité multifactorielle, laquelle Solow (1956) n'a jamais modélisée et qui demeure obscure, pour trouver une explication à la croissance de la productivité à long terme. De plus, les mesures des facteurs de production utilisées par Solow (1956) ne reflétaient pas la réalité de façon adéquate et durent être révisées.

En effet, Jorgenson et Griliches (1967) ont amélioré le modèle néoclassique en mettant au point de meilleures mesures du capital, du travail et d'autres intrants négligés afin de mieux cibler l'effet du progrès technologique dans le résidu. Solow (1956) avait quant à lui utilisé une mesure simple du stock en capital qui ne dépendait que du prix d'acquisition. Jorgenson et Griliches (1967) ont intégré la notion d'hétérogénéité des biens matériels afin de mettre au point une mesure du capital qui tenait compte des produits marginaux différents des types d'actifs.

Aussi, Jorgenson et Griliches (1967) ont poussé le modèle néoclassique à un autre niveau en développant une mesure du facteur travail qui tenait compte de l'hétérogénéité de la main d'œuvre. C'est en utilisant les salaires relatifs des différents types de travailleurs classés selon leur niveau d'éducation, leur expérience et leur sexe que Jorgenson et Griliches (1967) ont pu dériver une mesure du facteur travail qui intègre la qualité de la main d'œuvre. Ainsi, contrairement au modèle de Solow (1956), le modèle néoclassique tenait maintenant compte des changements dans la qualité de la main d'œuvre pour expliquer la croissance de la productivité du travail.

C'est donc à partir du modèle amélioré de Solow (1956) que la grande majorité des économistes ayant voulu mesurer l'impact des TIC sur les gains de productivité ont travaillé. Certains de ces travaux seront maintenant présentés.

Brynjolfsson et Hitt (1994)

Brynjolfsson et Hitt (1994) ont été parmi les premiers à établir un lien entre la productivité du travail et les nouvelles technologies de façon scientifique. Contrairement à notre recherche, leur étude s'établissait au niveau des firmes et couvrait la période 1988-1992. Brynjolfsson et Hitt (1994) ont utilisé une fonction de type Cobb-Douglas pour mesurer l'impact des dépenses en ordinateurs et en main d'œuvre reliée aux technologies de l'information sur l'output d'un panel de 367 grandes firmes américaines. Brynjolfsson et Hitt (1994) ont intégré à leur modèle un effet fixe qui faisait varier le résidu technologique d'une firme à l'autre. Ceci captait le fait que certaines firmes étaient structurellement plus productives que d'autres et prévenait d'une surestimation de l'effet des technologies de l'information. En effet, dans le cas où les investissements en TI auraient été corrélés avec une caractéristique non mesurée qui améliorait la productivité de la firme, le modèle aurait présenté un biais de variable omise. La caractéristique améliorant la productivité aurait ainsi été intégrée dans la variable mesurant l'effet des TI, gonflant artificiellement l'impact de cette dernière.

Brynjolfsson et Hitt (1994) ont ainsi trouvé que l'effet-firme fixe comptait pour près de la moitié des gains de productivité reliés aux technologies de l'information et que les dépenses en TI avaient une élasticité significative sur l'output de 0,0495.

Jorgenson et Stiroh (2000)

Jorgenson et Stiroh (2000) ont voulu mesurer l'impact des TIC sur la croissance de la productivité américaine d'un point de vue macro entre 1958 et 1999. Leur méthodologie repose sur le modèle néoclassique amélioré de Jorgenson et Griliches (1967). Jorgenson

et Stiroh (2000) ont décomposé la variable capital en quatre catégories, soient les ordinateurs, les logiciels, les équipements de télécommunication et les autres machines afin d'évaluer leur contribution séparément. Ils ont considéré trois manières dont les TIC pouvaient améliorer la productivité du travail. Celles-ci comprenaient les gains des industries productrices de TIC, l'accumulation de capital des industries utilisatrices, de même qu'un effet de déversement conséquent à des externalités réseaux. Ces dernières s'expliquent par le fait que les investissements d'une firme par exemple en télécopieur ou Internet permettent d'améliorer la productivité des travailleurs de toutes les autres firmes également connectées au réseau. Les bénéfices sociaux de ces investissements excéderaient ainsi les bénéfices privés. S'il existe, cet effet se retrouverait dans la croissance du résidu technologique, puisque les firmes bénéficiant de l'effet réseau se verraient plus productives pour une même quantité d'input.

Les conclusions de Jorgenson et Stiroh (2000) montrent que la croissance de la productivité du travail au cours des années 1990 est davantage due aux industries productrices de TIC qu'aux industries utilisatrices. En effet, grâce à une production plus efficiente des TIC qui a permis de produire des ordinateurs d'une plus grande puissance avec les mêmes inputs, la productivité multifactorielle des firmes productrices s'est grandement accrue et l'impact s'est fait ressentir jusqu'au niveau agrégé. Entre 1995 et 1999, la croissance de la PMF fut de 0,99 points de pourcentage, dont 0,32 sont provenus des ordinateurs, 0,08 des logiciels et 0,04 des équipements de télécommunications.

Pour ce qui est de l'effet de déversement et des externalités réseaux qui lui sont rattachées, Stiroh (2002) a plus tard tenté de les mesurer à l'aide d'une régression parallèle au modèle néoclassique, mais qui relaxait les hypothèses de rendements d'échelle constants. En effet, le modèle néoclassique contient un résidu technologique qui réfère à la croissance de l'output par heure qui n'est pas expliquée par la croissance des inputs. Or, Jorgenson et Stiroh (2000) avaient déjà montré que le regain de croissance de la productivité multifactorielle dans les années 1990 était grandement dû aux gains des industries productrices de TIC. Pour déterminer s'il existait aussi un lien entre la croissance de la productivité multifactorielle et l'utilisation des TIC, Stiroh (2002) utilise

un modèle où la productivité multifactorielle est expliquée par la croissance du capital en TIC. La régression de Stiroh (2002) contient également comme variables explicatives la croissance du capital hors-TIC, la croissance des inputs intermédiaires et la croissance du facteur travail. Ses résultats montrent un lien non significatif entre la croissance du capital en TIC et la croissance de la productivité multifactorielle. Stiroh (2002) conclue ainsi que ce type de capital n'a pas de particularité et que les externalités de réseaux qu'il pourrait engendrer sont négligeables.

Oliner et Sichel (2002)

Oliner et Sichel (2002) ont utilisé le modèle néoclassique de Solow (1956) pour mesurer l'apport des TIC aux États-Unis dans le secteur des entreprises non agricoles. Tout comme celle de Jorgenson et Stiroh (2001), leur étude se situe au niveau macro et c'est en agrégeant l'apport de chaque secteur industriel qu'ils ont pu déterminer la contribution totale pour l'économie américaine. Pour la période 1996-2001, leurs résultats démontrent une contribution annuelle moyenne de l'approfondissement du capital en TIC de 1,02 à la productivité du travail. Ceci équivaut à environ 42% de la croissance durant cette période. En ajoutant l'apport des gains d'efficacité des firmes productrices, les TIC se retrouvent responsables de près des trois quarts de la croissance. Ces conclusions ont poussé Oliner et Sichel (2002) à proclamer les TIC grandes responsables de l'explosion de la productivité du travail aux États-unis au cours des années 1990.

Gordon (2000)

Tout comme Oliner et Sichel (2002), Gordon (2000) a mesuré l'impact des TIC sur la croissance de la productivité du travail dans le secteur des entreprises non agricoles aux États-Unis. Gordon (2000) a utilisé une fonction de type Cobb-Douglas dans lequel il a introduit un effet cyclique et une tendance. Ces résultats montrent que pour la période 1996-1999, la productivité du travail a cru de 2,75 points de pourcentage annuellement, et que l'approfondissement en TIC avait ajouté 0,33 points de pourcentage à cette croissance, contre 0,31 pour les firmes productrices. Selon Gordon (2000), les TIC

seraient responsables de la totalité des gains de productivité multifactorielle, mais de seulement 24% de la croissance de la productivité du travail au cours de la fin des années 1990. Cette estimation est donc beaucoup plus conservatrice que celle d'Oliner et Sichel (2002).

Gordon (2000) estime en effet que le développement de la nouvelle économie et d'Internet fut aussi bien un franc succès qu'un profond désappointement. Selon lui, les nouvelles technologies ont réussi à créer une réelle explosion de la productivité dans le secteur manufacturier de biens durables et dans les industries productrices de TIC. Par contre, elles n'auraient eu que bien peu de répercussion sur le 88% de l'économie qui ne fait pas partie de ces catégories. En fait, en dépit d'un boom dans l'investissement en TIC, la tendance de la croissance de la productivité multifactorielle a même décéléré au cours de la deuxième moitié des années 90 dans ces secteurs. Gordon (2000) attribue ce phénomène à une dualité entre la croissance exponentielle de la puissance des ordinateurs et la dotation fixe du temps des travailleurs.

Autres articles

Les articles couverts jusqu'à maintenant se sont attardés à l'économie américaine. Par contre, inspirés par ce qui s'était fait aux États-Unis, plusieurs chercheurs ont mené des recherches semblables pour différentes économies.

Harchaoui et Tarkhani (2004) ont utilisé le modèle néoclassique amélioré par Jorgenson et Griliches (1967) pour confronter l'impact des TIC sur la productivité du travail entre le Canada et les États-Unis. À l'aide de données comparables, Harchaoui et Tarkhani (2004) concluent que le regain de la productivité du travail aux États-Unis est attribuable aux TIC, mais qu'au Canada, ces dernières ne furent qu'un facteur parmi d'autres. Harchaoui et Tarkhani (2004) affirment que la différence serait attribuable aux industries productrices, qui ont un poids plus élevé dans le PIB aux États-Unis, de même qu'à des investissements plus importants des industries utilisatrices américaines. En effet, au Canada, l'approfondissement du capital en TIC a compté pour 27% de la croissance de la

productivité du travail entre 1988 et 2000, contre 5% pour les industries productrices. Aux États-Unis, le capital en TIC a contribué pour 30%, tandis que les industries productrices ont été responsables de 31% de cette croissance.

S'interrogeant quant à la performance des TIC dans différents pays, Schreyer (2000) a publié un article dans lequel il estime l'apport des TIC dans les pays du G7. En utilisant lui aussi la méthodologie néoclassique de Solow (1956), Schreyer (2000) a considéré la période de 1980 à 1996, étant donné les délais de disponibilité de données comparables entre les pays. Tout de même, Schreyer (2000) conclue que les TIC ont joué un rôle important dans l'ensemble des pays examinés, même si c'est aux États-Unis que la contribution a été la plus marquée. De plus, tout comme Stiroh (2002), ses résultats tendent également à confirmer l'hypothèse d'absence d'externalité réseau du capital en TIC.

Finalement, pour conclure notre revue littéraire, Stiroh (2004) a réalisé une méta-analyse des études sur l'élasticité des TIC dans la fonction de production afin de combiner les résultats de plusieurs études et d'en tirer de nouvelles conclusions. Il a ainsi recensé les résultats de 20 papiers, trouvant une élasticité médiane de 0,046, et un domaine s'étendant de -0,060 à 0,177. Stiroh (2004) explique la variation des estimées par les différences dans la méthodologie économétrique utilisée par les auteurs, de même que par les périodes et les économies étudiées.

Suite à la revue des plus importants articles ayant été publiés concernant le lien entre les TIC et la productivité du travail, il apparaît évident que le paradoxe de Solow est dorénavant devenu obsolète. La prochaine section présentera en détail la méthodologie que nous avons utilisée pour déterminer si ce constat est également vrai pour le Québec.

IV. Méthodologie

Tel que présenté brièvement dans la revue de littérature, notre démarche s'appuiera sur le modèle néoclassique développé par Solow (1956) et amélioré par Jorgenson et Griliches

(1967). Par contre, étant donné les problèmes de disponibilité des données, notre étude ne mesurera que deux des trois formes de contribution des TIC à la productivité du travail. En effet, l'ensemble des données nécessaires à l'évaluation de la contribution des firmes productrices de TIC n'est pas produit en totalité par les instances gouvernementales en raison de contraintes de confidentialité. Nous nous attarderons ainsi à la contribution de l'approfondissement du capital en TIC de même qu'aux possibles externalités qu'il génère.

Le modèle de croissance néoclassique

Le modèle néoclassique de Solow (1956) suppose une frontière des possibilités de production, où l'output d'une économie ou d'une industrie particulière est déterminé par le capital et le travail, de même que par un résidu technologique. Plus précisément, on peut écrire cette frontière des possibilités de production en scindant le capital en TIC et hors TIC afin de cibler séparément l'effet de chacun :

$$Y = AX(L, K_N, K_{ICT}) \quad (1)$$

où Y représente la production en valeur ajoutée, qui est générée par le facteur agrégé des inputs X, constitué du facteur travail L, du capital hors TIC K_N , de même que du capital en TIC K_{ICT} . La productivité multifactorielle A augmente la production pour une quantité fixe d'input et est considérée exogène au modèle.

Sous les hypothèses de rendements d'échelle constants, de parfaite mobilité géographique de la main d'œuvre et de marchés concurrentiels dans le secteur des inputs qui égalent le prix de leurs services à leur productivité marginale, l'équation (1) peut être transformée telle que :

$$\Delta \ln Y = \bar{v}_L \Delta \ln L + \bar{v}_N \Delta \ln K_N + \bar{v}_{ICT} \Delta \ln K_{ICT} + \Delta \ln A \quad (2)$$

où la croissance de l'output Y s'explique par la somme des croissances du service des inputs, pondérées par leur élasticité respective, de même que par la croissance de la

productivité multifactorielle. L'élasticité des inputs n'étant pas observable, la théorie néoclassique suggère d'utiliser la part de chaque facteur dans la formation des revenus. De par l'hypothèse d'une économie à rendements d'échelle constants, la somme de ces élasticités est l'unité :

$$\bar{v}_L + \bar{v}_N + \bar{v}_{ICT} = 1 \quad (3)$$

Ainsi, dans le modèle néoclassique, la contribution de chaque facteur à la croissance de l'output est égale à sa croissance, pondérée par sa part dans la formation des revenus. La contribution de la productivité multifactorielle est quant à elle le résidu du modèle, c'est-à-dire la croissance de l'output qui n'est pas expliquée par la croissance des inputs. La même logique s'applique également pour évaluer les contributions de chaque terme à la croissance de la productivité.

Le modèle néoclassique appliquée à la croissance de la productivité du travail

Afin d'expliquer la croissance de la productivité du travail à l'aide du modèle de Solow (1956), on peut transformer les variables de l'équation (2) pour obtenir une équation qui s'écrit désormais :

$$\Delta \ln \left(\frac{Y}{H} \right) = \bar{v}_N \Delta \ln \left(\frac{\tilde{K}_N}{H} \right) + \bar{v}_{ICT} \Delta \ln \left(\frac{\tilde{K}_{ICT}}{H} \right) + \bar{v}_L (\Delta \ln L - \Delta \ln H) + \Delta \ln A \quad (4)$$

Ainsi, la croissance de la productivité du travail, représentée ici comme l'augmentation de l'output par heure travaillée, est déterminée par trois composantes. Celles-ci comptent la croissance de l'intensité du capital en TIC et hors TIC, qui améliore la productivité des travailleurs en mettant à leur disposition davantage d'équipements pour chaque heure qu'ils travaillent. La deuxième composante représente la croissance de la qualité de la main d'œuvre, ou la proportion croissante d'heures fournies par des travailleurs ayant une productivité marginale plus élevée que la moyenne. Cette qualité de la main d'œuvre est déterminée par le niveau d'éducation, l'expérience, de même que par le sexe des travailleurs. Une main d'œuvre mieux formée et davantage expérimentée réussira donc à produire un output plus important pour chaque heure de travail. Finalement, le progrès technologique et les changements organisationnels liés à la croissance de la productivité

multifactorielle génèrent eux aussi une croissance de la productivité du travail en permettant aux travailleurs de créer davantage de richesse sous contrainte d'un nombre d'heures fixe.

L'équation (4) fournit ainsi les deux voies selon lesquelles les technologies de l'information et de la communication contribuent à la croissance de la productivité du travail. Premièrement, l'investissement par les firmes en capital TIC augmente le stock de capital mis à la disposition des travailleurs, ce qui les rend plus productifs. Cette composante saisit les gains directs dont bénéficient les firmes utilisatrices. Deuxièmement, ces investissements en capital TIC ont souvent été soupçonnés de produire des effets de déversements dans les autres entreprises avec lesquelles les firmes utilisatrices transigent. Ce sont les externalités de réseau dont il a été question plus tôt et qui permettent aux firmes d'améliorer la productivité de leurs travailleurs de par le seul fait que le réseau auquel elles font partie s'agrandit. Si ces externalités existent, l'élasticité de l'input capital en TIC serait en réalité plus grande que sa part dans la formation des revenus, et une partie de sa contribution se retrouverait dans le terme de la croissance de la productivité multifactorielle.

Ainsi, la contribution directe du capital en TIC sera mesurée selon sa croissance, pondérée par sa part dans la formation des revenus. Cet exercice sera effectué au niveau agrégé, mais également pour chacun des 18 secteurs industriels. Pour ce qui est de la possible contribution du capital à la croissance de la productivité multifactorielle, elle ne peut être calculée au niveau des industries. Toutefois, au niveau agrégé, Stiroh (2002) a utilisé les données des différents secteurs industriels pour former un panel et estimer une régression semblable à celle que nous utiliserons. Les différences se trouvent au niveau des variables dépendantes utilisées. En effet, Stiroh (2002) fait appel à l'investissement direct en capital de même qu'aux services du travail. Afin d'être conséquent avec notre mesure de la productivité multifactorielle dérivée de l'équation (4), nous utiliserons pour notre part les variations d'intensité de capital, de même que les changements dans la qualité de la main d'œuvre. Notre régression sera ainsi :

$$\Delta \ln A_{i,t} = \beta_{ICT} \cdot \Delta \ln \left(\frac{\tilde{K}_{ICT}}{H} \right)_{i,t} + \beta_N \Delta \ln \left(\frac{\tilde{K}_N}{H} \right)_{i,t} + \beta_L (\Delta \ln L - \Delta \ln H)_{i,t} + \alpha_i + \lambda_t + v_{i,t} \quad (5)$$

où $A_{i,t}$ est la productivité multifactorielle dans l'industrie i et au temps t . Pour sa part, λ_t représente une variable dichotomique annuelle, captant les chocs subits par l'ensemble des industries à un moment donné, α_i est un effet fixe pour chaque industrie et $v_{i,t}$ agit à titre de résidu dans la régression. L'effet du capital en TIC sur la croissance de la productivité multifactorielle au niveau agrégé, s'il existe, sera ainsi reflété par le coefficient β_{ICT} .

Pour les fins de notre étude, nous supposerons deux scénarios différents pour estimer les paramètres de l'équation (5). Premièrement, nous assumerons que les choix d'inputs sont faits indépendamment des chocs sur la productivité multifactorielle, et estimerons l'équation (5) selon la méthode des moindres carrés ordinaires. Le deuxième cas suppose des choix d'inputs qui sont faits dépendamment de la croissance de la productivité multifactorielle. Advenant un tel scénario, les variables explicatives seraient ainsi corrélées avec le résidu $v_{i,t}$, menant à une régression qui produit des paramètres non convergents et de moins bonne qualité. Nous estimerons ainsi l'équation (5) en n'y incluant des variables instrumentales, soient les valeurs retardées d'une et de deux périodes de chaque variable explicative. Nous comparerons ensuite les résultats avec ceux obtenus avec la méthode des moindres carrés ordinaires.

Les différentes régressions introduites ci-haut nécessitent l'emploi de certaines variables qui ne sont pas fournies directement par les instances mandatées à la production de données. Certaines d'entre elles ont dû en effet être construites et la démarche employée pour y parvenir sera maintenant élaborée.

Les mesures du capital, du travail et des élasticités des inputs

Tel que discuté brièvement plus tôt, notre méthodologie de mesure des facteurs du capital en TIC et hors TIC, de même que du travail s'inspire de celle introduite par Jorgenson et

Griliches (1967). Statistique Canada produit cette mesure pour les services du capital, mais la variable travail a dû être déterminée selon nos propres calculs.

Le capital en TIC et Hors TIC

Statistique Canada utilise la méthode des inventaires perpétuels pour calculer le stock de capital au niveau national et provincial. Cette façon de faire est considérée comme la plus appropriée, car elle pondère chaque actif selon son coût d'usage et non son coût d'acquisition. Le coût d'usage suppose que le prix du capital est égal à sa productivité marginale et, contrairement au coût d'acquisition, tient compte de la vitesse de dépréciation de chaque type actif et de leurs différences au niveau du traitement fiscal.

Afin d'obtenir une mesure du stock de capital en TIC pour chaque secteur industriel, nous avons ainsi utilisé les mesures du stock de capital en machines et équipements au Québec, sur lesquelles nous avons appliqué les proportions du capital en TIC au Canada. Plus précisément, notre calcul fût tel :

$$K_{ICT,i,t}^q = K_{ME,i,t}^q \times \phi_{i,t}^c \quad (6)$$

où $K_{ICT,i,t}^q$ représente le capital en TIC au Québec pour l'industrie i au temps t , $K_{ME,i,t}^q$ le capital en machines et équipements au Québec, et $\phi_{i,t}^c$ la proportion de capital en TIC dans le capital en machines et équipements au Canada. Le capital hors TIC de chaque industrie a pour sa part été calculé en soustrayant le stock de capital en TIC obtenu grâce à l'équation (6), au stock de capital total au Québec.

Le travail

La mesure de l'intrant travail de Jorgenson, Gollop et Fraumeni (1987) que nous utiliserons est conçue pour refléter les changements dans la composition de la main d'œuvre au fil du temps, à savoir si la qualité des travailleurs a augmenté ou diminué. Ainsi, nous pourrions mesurer la contribution de ce phénomène sur la croissance de la

productivité et obtiendrons une mesure plus précise de la croissance de la productivité multifactorielle.

La mesure du service du travail consiste à attribuer un poids différent à la croissance des heures travaillées par les différents types de travailleurs, en la pondérant selon la productivité marginale relative de chacune de ces catégories. Les poids nécessaires pour cette mesure sont déterminés par les parts dans la rémunération totale de chaque type de travailleur. En effet, en assumant que les rendements d'échelle sont constants, que la main d'œuvre est parfaitement mobile, que les firmes sont preneuses de prix sur le marché du travail et qu'elles minimisent leurs coûts, chaque catégorie de travailleur sera embauchée jusqu'à ce que le coût supplémentaire d'une heure de travail corresponde au revenu tiré de celle-ci. Ainsi, sous ces hypothèses, la rémunération de chaque type de travailleur équivaudra à sa productivité marginale. C'est donc à partir de ce raisonnement que provient l'idée de Jorgenson, Gollop et Fraumeni (1987) d'utiliser les parts de rémunération totale comme approximation de la productivité marginale des travailleurs.

Bien que cette façon de faire nous permette d'obtenir une estimation plus précise de la contribution de la main d'œuvre à la croissance de la productivité du travail et, par conséquent, de celle des TIC, elle amène également quelques inconvénients. En effet, l'hypothèse d'égalité entre les salaires et la productivité marginale des travailleurs est forte. La présence de syndicats, de même que des obstacles tels la localisation et les qualifications des travailleurs qui empêchent la mobilité parfaite de la main d'œuvre nous obligent à douter d'un marché du travail parfaitement efficient. Ainsi, une rémunération plus élevée que la productivité marginale créerait un biais positif à nos calculs et gonflerait notre estimation de la contribution de la main d'œuvre. Par contre, dans une perspective de long terme, il est raisonnable de croire que les salaires sont de très bons indicateurs de la productivité marginale des travailleurs.

De façon exhaustive, la démarche débute en définissant l'indice des services du travail L_t de la façon suivante :

$$L_t = f(h_{1t}, \dots, h_{1t}, \dots, h_{ct}) \quad (7)$$

où L_t est fonction du nombre d'heures de travail h_{lt} des différents types de travailleurs l au temps t . Notre définition des types de travailleurs comprend 48 catégories, déterminées selon le niveau d'éducation, le sexe et l'âge.⁷ Cette dernière variable sert de baromètre pour l'expérience professionnelle.

La variation de l'indice L_t avec laquelle nous déterminerons la contribution du travail à la croissance de la productivité correspond à la somme des croissances des heures travaillées pondérées des différents types de travailleurs. Plus explicitement :

$$\Delta \ln L_t = \sum_{l=1}^c \bar{v}_{lt} \Delta \ln h_{lt} \quad (7)$$

où v_{lt} est la part de rémunération totale attribuée au type l , entre les périodes t et $(t-1)$. On utilise ainsi la moyenne de v_l au temps t et $(t-1)$ pour déterminer \bar{v}_{lt} . La variable de la variation de la composition de la main d'œuvre de l'équation (4), qui correspond à la différence entre les croissances de l'indice L_t et du nombre d'heures travaillées totales, peut ainsi s'écrire :

$$\Delta \ln L_t - \Delta \ln H_t = \sum_{l=1}^c \bar{v}_l \Delta \ln h_{lt} - \Delta \ln \sum_{l=1}^c h_{lt} \quad (8)$$

L'équation montre que ce changement dans la qualité de la main d'œuvre est positif si la mesure de l'indice des services du travail croît plus rapidement que la somme des heures travaillées durant la même période. Ceci survient lorsqu'il y a une augmentation plus importante dans la croissance des heures travaillées des catégories de travailleurs dont la productivité marginale est supérieure à la moyenne.

⁷ Voir tableau 1 pour l'éclatement des différentes catégories.

Les élasticités des inputs

Tel que mentionné précédemment, les hypothèses du modèle néoclassique de la croissance nous permettent de calculer les élasticités des inputs selon la part de chacun dans la formation des revenus. En effet, l'assomption de rendements d'échelle constants nous permet de supposer que la somme des coefficients des inputs dans la fonction de production est l'unité. Ces coefficients ne sont alors que la proportion du service de chaque input dans la production totale de l'économie ou de l'industrie étudiée.

Ainsi, l'élasticité du facteur travail v_L pour l'année t a été calculée en divisant les revenus totaux des travailleurs pour l'année t par l'output total de cette même année. L'élasticité du capital a pour sa part été déduite par la formule :

$$v_K = (1 - v_L) \quad (9)$$

De même, les élasticités du capital en TIC et hors TIC ont été calculées selon la proportion du service de chacun dans le stock de capital total.

Cette dernière section a donc introduit notre démarche basée sur le modèle néoclassique de la croissance et expliqué le calcul des différentes variables utilisées dans celui-ci. C'est donc à partir de cette méthodologie que nous avons pu déterminer les contributions de chaque facteur à la croissance de la productivité du travail au Québec. Nos résultats seront présentés à la section suivante et une attention particulière sera portée à la contribution du capital en TIC.

V. Résultats empiriques

La théorie présentée à la section précédente nous servira à estimer la contribution de chaque facteur influençant la productivité du travail au Québec. Une attention spéciale sera cependant portée à la contribution directe de l'approfondissement du capital en TIC et à l'impact des externalités de réseaux qu'il pourrait générer, lesquels facteurs sont le coeur de notre recherche.

La contribution directe des investissements en TIC selon le modèle néoclassique

La prochaine sous-section présentera nos résultats au point de vue macro et des secteurs industriels, obtenus grâce à l'équation (4) introduite plus tôt :

$$\Delta \ln \left(\frac{Y}{H} \right) = \bar{v}_N \Delta \ln \left(\frac{\tilde{K}_N}{H} \right) + \bar{v}_{ICT} \Delta \ln \left(\frac{\tilde{K}_{ICT}}{H} \right) + \bar{v}_L (\Delta \ln L - \Delta \ln H) + \Delta \ln A \quad (4)$$

Résultats au point de vue macro

Le tableau 2 rapporte les taux de croissance de la productivité du travail de même que les contributions des différents facteurs au niveau de l'économie agrégée pour diverses périodes. Les résultats révèlent que pour la période 1990-2005, la productivité du travail s'est accrue de 1,3% en moyenne annuellement, et que le capital en TIC a contribué pour 0,3 point de pourcentage à cette croissance. Les TIC seraient ainsi responsables d'environ 23% de la croissance de la productivité du travail au cours de la période étudiée. En ciblant l'intervalle 1996-2000, période où les investissements en TIC ont atteints leur apogée, cette contribution s'élève à 0,4 point de pourcentage, soit exactement le quart de la croissance. On remarque également que c'est au cours de cette période que les gains de productivité ont été les plus importants. Nos résultats démontrent ainsi que l'approfondissement du capital en TIC a bel et bien eu un impact sur la productivité du travail au Québec, et que cet impact n'est que légèrement inférieur à celui de 0,4 point de pourcentage, ou 27% des gains, évalué par Harchaoui et Tarkhani (2004) pour le Canada. Cependant ces derniers avaient exclus de leurs calculs les entreprises agricoles, qui ont tendance à moins investir en capital TIC et donc bénéficie généralement moins de leur effet sur la productivité. La période qu'ils ont étudié est également légèrement différente, soit 1988-2000.

Le tableau 2 nous montre aussi que le capital hors TIC a contribué négativement à la croissance de la productivité du travail. Ceci peut refléter la substitution des intrants qui s'est déroulée suite à la chute des prix des ordinateurs et des TIC en général au cours de la période étudiée. En effet, le capital hors TIC devenant relativement plus coûteux, les

firmer semblent l'avoir délaissé au profit du capital en TIC. Les services du capital hors TIC ont d'ailleurs diminué dans le secteur de la fabrication, qui détient un poids considérable dans l'économie du Québec. De plus, l'élasticité du capital, ou sa part dans la formation des revenus, a également baissé au cours de la période étudiée au profit du facteur travail.

La composition de la main d'œuvre a quant à elle contribué significativement aux gains de productivité, ajoutant en moyenne 0,5 point de pourcentage annuellement. Ceci est le résultat d'une combinaison de l'augmentation du niveau général d'éducation des travailleurs et d'une population active plus âgée et plus expérimentée.

Enfin, la plus grande contribution est venue de la productivité multifactorielle, qui a ajouté 0,7 point de pourcentage en moyenne annuellement. Ceci reflète les gains d'efficacité de l'économie, notamment grâce au progrès technologique. Bien que nous ne disposions pas des données nécessaires pour l'évaluer, les gains dans la production des ordinateurs et autres composantes des TIC ont pu jouer un rôle dans la contribution de la productivité multifactorielle.

Résultats au niveau des secteurs industriels

Les graphiques 1 et 2 présentent en détail nos résultats en ce qui a trait aux contributions des diverses sources de croissance de la productivité du travail au niveau des secteurs industriels.

Les secteurs ayant reçu la plus forte contribution des TIC sont les services professionnels, scientifiques et techniques (3,1 point de pourcentage), les services administratifs, services de soutien, services de gestion des déchets et services d'assainissement (1,1 point de pourcentage), le commerce de gros (1,0 point de pourcentage), ainsi que les services financiers, immobiliers et de gestion (0,8 point de pourcentage). Le tableau 3 montre que ces industries sont également celles qui, toutes proportions gardées, utilisent davantage

les TIC. Le graphique 3 présente la relation croissante existant entre la part des TIC dans le capital total dans les différents secteurs et la croissance de la productivité du travail.

Pour ce qui est de la contribution de la productivité multifactorielle, les industries en ayant le plus bénéficié sont l'information et l'industrie culturelle (2,6 point de pourcentage), les services administratifs, services de soutien, services de gestion des déchets et services d'assainissement (2,5 point de pourcentage), de même que le secteur de la fabrication (1,9 point de pourcentage). Certaines industries telles les services professionnels, scientifiques et techniques (-3,9 point de pourcentage), les soins de santé et l'assistance sociale (-2,4 point de pourcentage), de même que la construction (-2,1 point de pourcentage) ont connu une contribution négative de la productivité multifactorielle. Ceci peut sembler surprenant puisque cette composante représente le progrès technologique et qu'une contribution négative suggère que la technologie et les méthodes de production se sont dégradées au cours de la période. Par contre, une productivité multifactorielle négative ne signifie pas nécessairement un repli dans l'efficacité des méthodes de production utilisées. Elle peut en effet refléter une baisse de compétitivité dans les marchés, une augmentation de la réglementation gouvernementale ou une période d'apprentissage suite à l'intégration de nouvelles technologies dans les modes de production. La prochaine section vise justement à déterminer l'impact qu'a pu avoir l'approfondissement du capital en technologies de l'information et de la communication sur la croissance de la productivité multifactorielle.

Estimation économétrique des élasticités

Tel que mentionné précédemment, les hypothèses du modèle néoclassique nous permettent d'évaluer les élasticités des inputs selon la part de chacun dans la formation des revenus. Cependant, il est pertinent de les estimer économétriquement afin de déterminer si ces hypothèses sont vérifiées.

Le tableau 4 montre les résultats des régressions selon la méthode des MCO et des variables instrumentales. Le coefficient du capital en TIC n'est pas significatif pour la

régression avec variables instrumentales, mais évalué à 0,0389 avec les MCO, il se révèle positif et significatif. Il est également à l'intérieur du domaine, mais en deçà de la valeur médiane de 0,046 déterminée par la méta-analyse de Stiroh (2004). De plus, les tests effectués pour déterminer s'il est équivalent à sa part dans la formation des revenus donnent des résultats concluant. En effet, pour les MCO, le coefficient ne s'avère pas significativement différent de 0,0361, soit la part moyenne du capital en TIC dans la formation des revenus au cours de la période étudiée. Ceci nous permet déjà de douter de la présence d'externalités rattachées aux investissements en capital en TIC.

Pour ce qui est du coefficient du capital hors-TIC, qui s'élève à 0,6121 avec les MCO et à 0,6478 avec les variables instrumentales, il s'avère plus élevé que sa part dans la formation des revenus, estimée à 0,4611. Ceci nous oblige à considérer l'existence d'externalités provoquées par des investissements en capital hors TIC.

Finalement, le coefficient de la main d'œuvre s'est révélé fort et négatif selon les deux méthodes de régression, ce qui est en contradiction avec nos attentes. En effet, selon ces résultats, une amélioration de la main d'œuvre ferait diminuer la croissance de la productivité. Ce phénomène demeure obscur et sans véritable explication. De plus, en biaisant les autres coefficients de la régression, il rend pratiquement invalide toute conclusion concernant les élasticités du capital en TIC et hors-TIC.

La contribution des externalités de réseau

L'estimation du coefficient du capital en TIC nous a laissé sans réponse quant à la possible présence d'externalités liées au capital en TIC. En effet, bien que les deux méthodes de régression estiment un coefficient égal à sa part dans la formation des revenus, la mauvaise spécification provoquée par la variable de la main d'œuvre ne nous permettait pas de formuler un verdict définitif. Pour déterminer si l'approfondissement en TIC a généré des externalités qui ont contribué à la croissance de la productivité du travail, nous avons utilisé la régression (5) présentée plus tôt :

$$\Delta \ln A_{i,t} = \beta_{ICT} \Delta \ln \left(\frac{\tilde{K}_{ICT}}{H} \right)_{i,t} + \beta_N \Delta \ln \left(\frac{\tilde{K}_N}{H} \right)_{i,t} + \beta_L (\Delta \ln L - \Delta \ln H)_{i,t} + \alpha_i + \lambda_t + v_{i,t} \quad (5)$$

où $A_{i,t}$ est le résidu obtenu de l'équation (4). Les paramètres estimés selon les méthodes des MCO et des variables instrumentales se retrouvent dans le tableau 5. On y voit que pour l'estimation par MCO, le coefficient β_{ICT} est positif pour les MCO, mais négatif avec l'emploi de variables instrumentales. Cependant, pour les deux estimations, le paramètre n'est pas significativement différent de 0. Ceci nous laisse croire que les investissements en capital TIC n'auraient pas créé d'externalités de réseau et que les effets de déversement sur les autres firmes utilisatrices n'auraient pas eu lieu. Ceci est d'ailleurs cohérent avec les résultats de Stiroh (2002) et Schreyer (2000) qui n'avaient également pas mesuré d'impact des TIC sur la croissance de la productivité multifactorielle pour les États-Unis et les pays du G7.

Ainsi, à la lumière de ces résultats, la contribution de l'approfondissement du capital en TIC aux gains de productivité ne serait donc uniquement venue des investissements directs, et notre coefficient β_{ICT} utilisé dans l'équation (4) ne serait pas sous-estimé. Par contre, l'intensité du capital hors TIC montre quant à lui un paramètre fort et positif pour les estimations en MCO et avec variables instrumentales. Ceci vient confirmer les résultats de la section précédente et suggère que son impact sur les gains de productivité a été plus grand que ne le prédit le modèle néoclassique. Stiroh (2002) a également fait face à de tels résultats et a introduit une explication au phénomène. Il avance que les améliorations aux équipements, notamment les outils de contrôle numérique, les ont rendu plus précis, plus flexibles et moins coûteux à installer. Ainsi, si ces caractéristiques améliorant la productivité des firmes ne sont pas comptabilisées dans les estimés conventionnels du capital, alors les gains se retrouveraient dans le résidu technologique. Ce dernier serait alors corrélé avec l'intensité du capital hors TIC. Bien que Stiroh (2002) croit que ce phénomène devrait être étudié davantage, c'est cette explication qu'il retient et c'est celle que nous retiendrons également.

Finalement, le résultat le plus inattendu est provenu du paramètre de la qualité de la main d'oeuvre. En effet, les hypothèses du modèle néoclassique réfèrent à une croissance

exogène du résidu technologique et prédisent ainsi une absence de corrélation entre l'input travail et le résidu technologique. Or, notre coefficient estimé à -0,76 selon les deux méthodes se révèle fort et négatif. Ainsi, face à une croissance de la qualité de la main d'œuvre, les firmes québécoises pourraient devenir moins proactives et miseraient davantage sur leurs gains au niveau de la qualité de leurs travailleurs au détriment de réformes organisationnelles et d'amélioration de leurs méthodes de production. Bien que ce phénomène nécessiterait d'être approfondi davantage, nos résultats ne sont toutefois pas complètement contradictoires avec ceux obtenus par Stiroh (2002) qui avait également observé un lien négatif entre la croissance des heures travaillées et le progrès technologique. Toutefois, son coefficient estimé était moins fort à -0,13 avec les MCO et -0,34 avec les variables instrumentales. La différence entre nos deux résultats pourrait s'expliquer par le fait que notre input travail tient compte de la croissance de la qualité de la main d'œuvre tandis que celui de Stiroh (2002) ne fait référence qu'à la croissance des heures travaillées. Il se peut aussi que la croissance de la qualité de la main d'œuvre ait eu un impact négatif plus considérable sur la croissance de la productivité multifactorielle au Québec qu'aux États-Unis.

D'un point de vue général, nos résultats se révèlent cohérents et démontrent que les TIC ont bel et bien contribué aux gains de productivité du travail au Québec. Les investissements du capital en TIC ne semblent cependant pas avoir provoqué d'externalités réseau qui auraient amélioré la productivité des autres firmes utilisatrices comme la théorie économique le suppose. Par contre, du côté négatif, les coefficients estimés pour la variable main d'œuvre ne sont pas fidèles aux attentes. En effet, ils s'avèrent négatifs et significatifs dans les deux régressions. Selon notre modèle, on se serait attendu à un coefficient positif et fort pour la régression de la productivité du travail, et à un coefficient nul pour la régression de la productivité multifactorielle. Ceci rend ainsi moins précise l'estimation des autres coefficients de notre régression.

VI. Conclusion

Suite à la divulgation des résultats empiriques, il est maintenant pertinent de faire un survol de cette présente recherche et de revenir sur les points importants. Le but de ce travail était de mesurer la contribution de l'approfondissement du capital en technologie de l'information et de la communication aux gains de productivité du travail au Québec entre 1990 et 2005.

Notre méthodologie s'inspirait du modèle néoclassique de la croissance de Solow (1956), de même que d'une régression mis au jour par Stiroh (2002), visant à mesurer les possibles externalités que génèrent les investissements en TIC. Ainsi, nous avons estimé une contribution directe de l'approfondissement du capital en TIC de 0,3 point de pourcentage à la croissance de la productivité du travail au Québec au cours de la période étudiée. Les secteurs industriels utilisant plus intensément les TIC dans leur mode de production, tels les services professionnels, scientifiques et techniques, les services administratifs, le commerce de gros, de même que les services financiers, immobiliers et de gestion, semblent également avoir profité davantage de l'impact des TIC sur la productivité du travail.

Estimée économétriquement, l'élasticité du capital en TIC s'est aussi avérée positive et significative à 0,0389 avec la méthodologie des MCO. Par contre, ces résultats doivent être interprétés avec prudence puisqu'un problème au niveau du coefficient du facteur travail rend moins juste l'estimation des autres coefficients de la régression. Aussi, nos résultats ne démontrent pas de lien significatif entre l'intensité du capital en TIC et le résidu technologique. Ce constat nous laisse ainsi bien peu de preuve pour présumer de l'existence d'un effet de débordement des firmes utilisatrices liés aux externalités réseau. La contribution directe des investissements en TIC estimée à l'aide du modèle néoclassique capterait donc entièrement leur apport à la productivité du travail.

Ainsi, avec une contribution de 23% à la croissance de la productivité du travail, l'utilisation des TIC comme capital se révèle un facteur important pour expliquer les

gains soutenus de productivité du travail enregistrés au Québec au cours de la décennie '90 et la première moitié des années 2000. Par contre, elle n'est pas la seule explication au phénomène. En effet, bien que certains auteurs comme Oliner et Sichel (2002) et Harchaoui et Tarkhani (2004) aient proclamé les TIC comme les seuls responsables de la croissance exceptionnelle de la productivité du travail aux États-Unis, d'autres facteurs ont joué un rôle pour le Québec. L'amélioration de la qualité de la main d'œuvre, de même que le progrès technologique semblent avoir eu un impact important.

Bien que notre méthodologie soit reconnue pour être robuste de par son utilisation dans la littérature économique, nos résultats doivent tout de même être interprétés avec précaution. En effet, une estimation plus juste pourrait être obtenue en utilisant les véritables données sur le stock de capital en TIC au Québec. De plus, notre estimation n'a pas tenu compte de l'apport des firmes productrices de TIC à la croissance de la productivité multifactorielle. Les gains d'efficacité enregistrés dans les industries de fabrication des TIC sont un autre facteur qui contribue à la croissance de la productivité du travail au niveau de l'économie agrégée. Il serait ainsi souhaitable de répéter notre exercice si toutes les données requises sont un jour disponibles.

Le but de ce travail se veut modeste, mais les résultats obtenus reflètent un enjeu important pour le Québec. En effet, la productivité du travail d'une économie étant un déterminant majeur du niveau de vie de la population, il demeure prioritaire d'adopter une attitude proactive et de ne pas négliger les facteurs qui contribuent à sa croissance. Or, ce travail a montré que les TIC ont contribué significativement à cette croissance au Québec, mais que l'apport fut beaucoup plus modéré que celui estimé aux États-Unis. Une utilisation plus intensive, jumelée à une incorporation adéquate des TIC au capital productif des firmes ne pourrait être que bénéfique pour la productivité du travail et le niveau de vie de la population du Québec.

Bibliographie

BALDWIN. J, HARCHAOU. T, « Croissance de la productivité au Canada », Statistique Canada, No 15-204-XIF, 2002

BALDWIN. J, GU. W, « La productivité multifactorielle au Canada : une évaluation de diverses méthodes d'estimation des services du capital », Statistique Canada, La Revue canadienne de la productivité, No 15-206-XIF, No. 009, Avril 2007

BALDWIN. J, GU. W, « Investissement et croissance de la productivité à long terme dans le secteur des entreprises au Canada, 1961 à 2002 », Statistique Canada, La Revue canadienne de la productivité, No 15-206-XIF, No. 006, Juin 2007

BRYNJOLFSSON. E, HITT. L, « Information Technology as a factor of production: The role of differences among firms », MIT Sloan School, August 1994

FINANCES QUÉBEC, « Productivité du travail au Québec », Analyse et conjoncture économiques, Volume 1, numéro 6, 27 février 2004

GORDON. R, « Does the New Economy Measure up to the great inventions of the past? », Journal of Economic Perspectives, Vol. 14, No. 4, Automne 2004, pp. 49-74

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. « Québec objectif emploi : vers une économie d'avant-garde, stratégie fiscale intégrée pour l'économie du savoir », Ministère des Finances, budget 1999-2000

GREENE. W, « Économétrie », Pearson Education France, 5^e édition, 2005

HARCHAOU. M, TARKHANI. F, « Qu'est-il advenu de la croissance économique et de la productivité au Canada à l'ère de l'information? », Série de documents de recherche sur l'analyse économique de Statistique Canada, No 11F0027MIF, Novembre 2004

JORGENSON. D, GALLOP. F, FRAUMENI. B, « Productivity and the U.S. Economic Growth », Harvard University Press, 1987

JORGENSON. D, GRILICHES. Z, « The Explanation of Productivity Change », The review of Economic studies, Vol. XXXIV (3), No. 99, July 1967

JORGENSON. D, STIROH. J « Raising the speed limit: U.S. Economic Growth in the Information Age », Federal Reserve Bank of New York, May 2000

OLINER. S, SICHEL. D, « The Resurgence of Growth in the late 1990s: Is Information Technology the story? », Federal Reserve Board, February 2000

OLINER. S, SICHEL. D, « Information Technology and Productivity: Where are we now and where are we going? », Federal Reserve Board, May 10 2002

SOLOW. R.M, « A Contribution to the Theory of Economic Growth », The Quaterly Journal of Economics, Vol. 70, No.1, February 1956, pp. 65-94

SOLOW. R.M., «We'd better watch out », *New York Times*, July 12, 1987, p.36

STIROH, J. « Are ICT Spillovers Driving The New Economy », The review of income and wealth, Volume 48, Issue 1, Page 33-57, March 2002

STIROH, J. « Reassessing the impact of IT in the Production Function: A meta-analysis and sensitivity tests», Federal Reserve Bank of New York, November 2004

STIROH, J. « Investissement et croissance de la productivité étude inspirée de la théorie néoclassique et de la nouvelle théorie de la croissance», Programme des publications de recherche d'Industrie Canada, Document hors série No. 24, Juin 2000

SCHREYER. P, « The Contribution of Information and Communication Technology to Output Growth: A Study of the G7 Countries », OECD Science, Technology and Industry Working Papers, OECD Publishing, 2000

TRIPLETT. J, « The Solow productivity paradox: what do computers do to productivity? », Canadian Journal of Economics, Vol. 32, No. 2, Avril 1999

Remerciements

Je tiens à remercier pour leur contribution à la réalisation de ce travail, ma directrice de recherche Emanuela Cardia, Benoît Perron, Rabah Arrache, Malika Hamzaoui, Carole Gravel, Normand Roy, Lassad Damak, Guylaine Baril, ainsi que tous les membres du CETECH.

TABLEAU 1

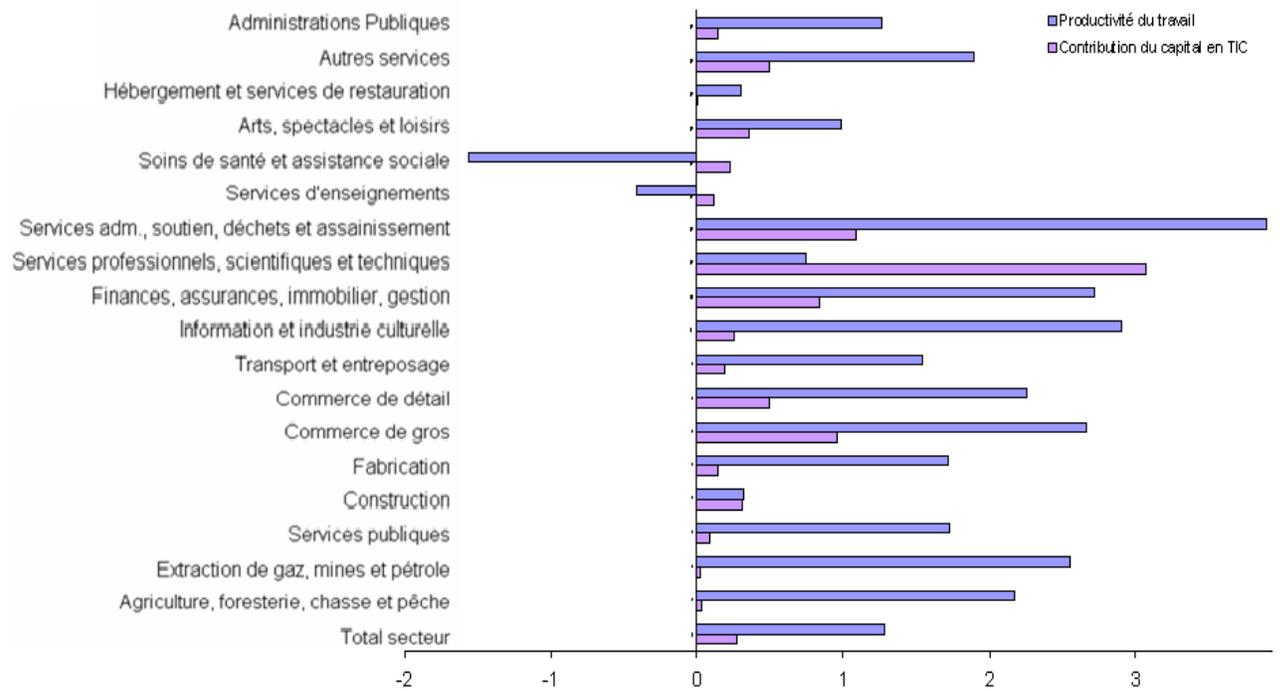
Composition des différentes catégories de travailleurs		
Niveau d'éducation	Sexe	Âge
Études Primaires	Homme	15-24
Études Secondaires	Femme	25-34
Études Collégiales		35-44
Études universitaires		45-54
		55-64
		65+

TABLEAU 2

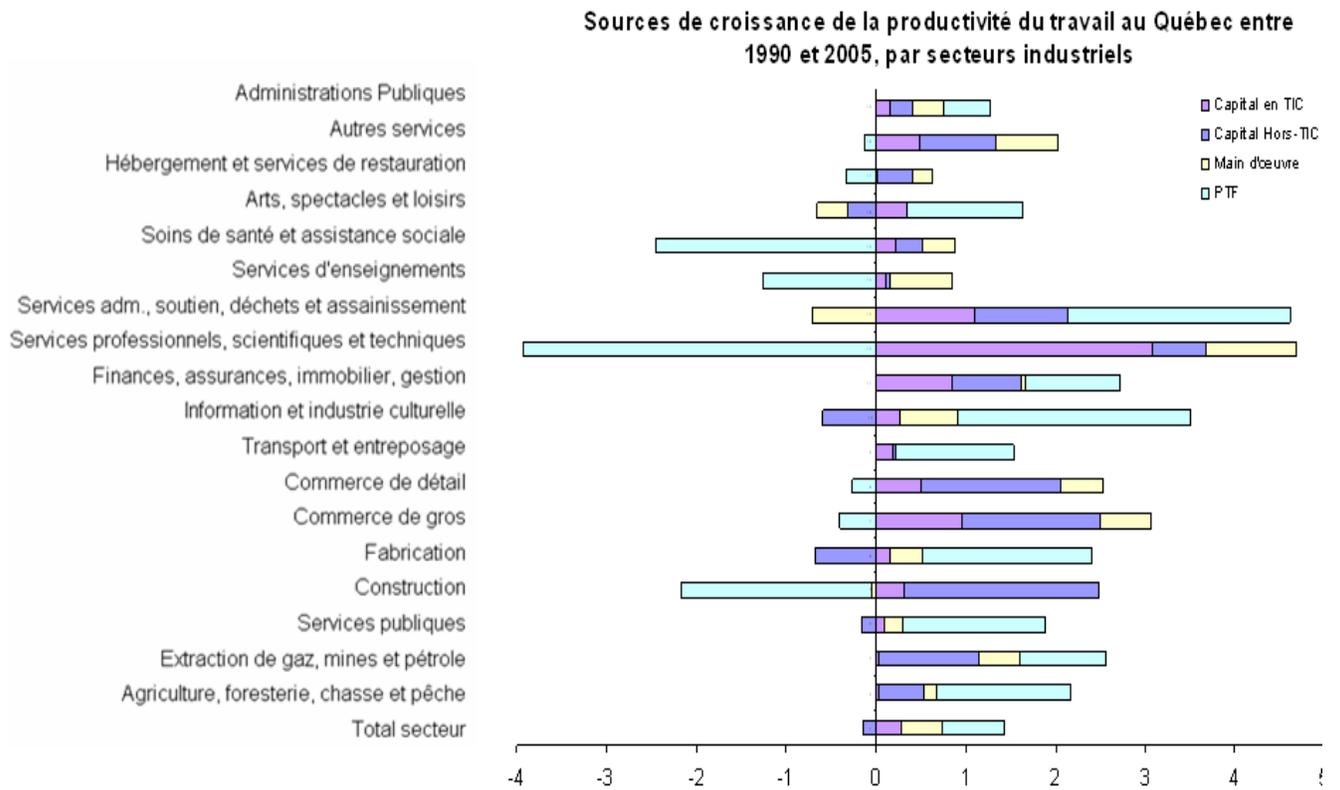
Taux de croissance annuels de la productivité du travail et les contributions de l'intensité du capital en TIC, du capital hors TIC, de la composition de la main d'œuvre et de la productivité multifactorielle pour l'ensemble de l'économie du Québec						
	1990-2005	1990-1995	1996-2000	2000-2005	1996-2005	
Productivité du travail	1,3	1,1	1,6	1,2	1,3	1,3
Capital en TIC	0,3	0,1	0,4	0,3	0,3	0,3
Capital Hors-TIC	-0,1	0,4	-0,7	-0,1	-0,2	-0,2
Main d'œuvre	0,5	0,7	0,3	0,3	0,5	0,5
PTF	0,7	-0,2	1,6	0,7	0,7	0,7

GRAPHIQUE 1

Contribution du capital en TIC à la croissance de la productivité du travail au Québec entre 1990 et 2005



GRAPHIQUE 2



GRAPHIQUE 3

CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ ET
UTILISATION DES TIC PAR SECTEUR INDUSTRIEL
(1990-2005)

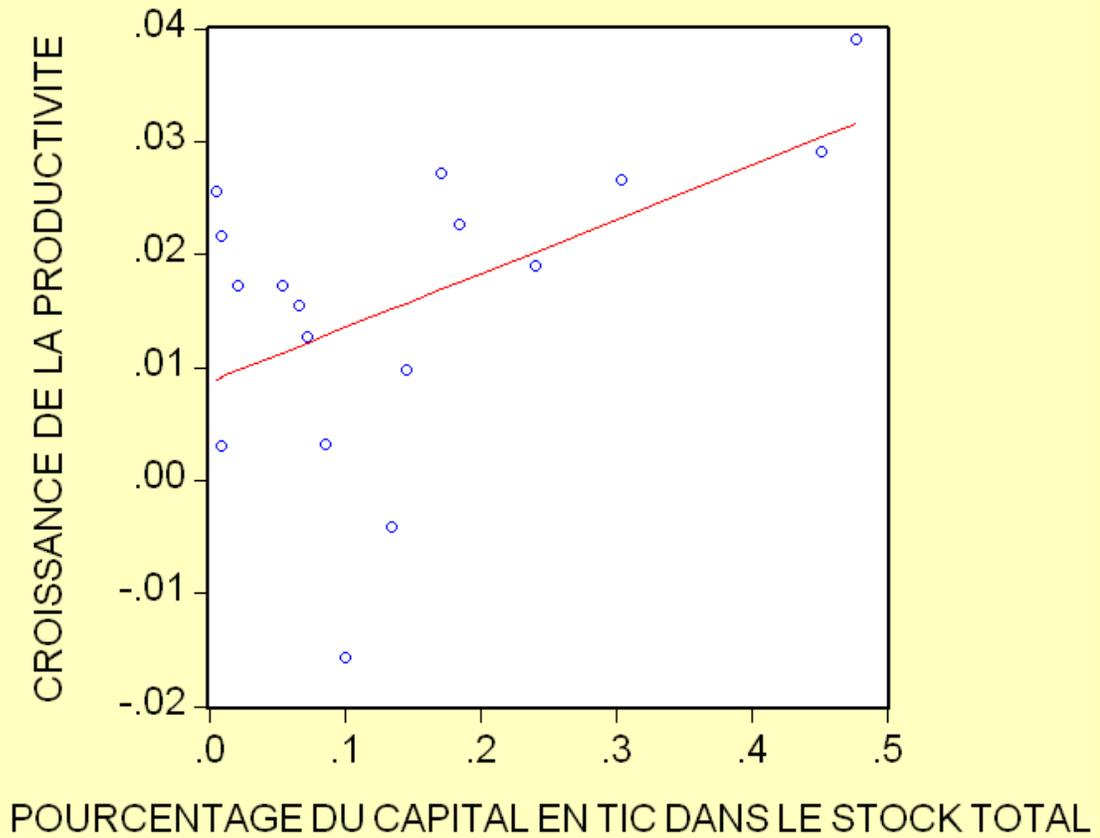


TABLEAU 3

Part des TIC dans le capital total et croissance annuelle moyenne du stock en capital TIC dans les différents secteurs industriels au Québec entre 1990 et 2005		
	Part des TIC dans le capital total en 2005	Croissance annuelle moyenne du capital en TIC entre 1990 et 2005
Services professionnels, scientifiques et techniques	81,2%	22,0%
Services adm., soutien, déchets et assainissement	47,8%	15,3%
Information et industrie culturelle	45,2%	3,2%
Commerce de gros	30,4%	18,4%
Autres services	24,0%	20,8%
Commerce de détail	18,5%	20,6%
Finances, assurances, immobilier, gestion	17,1%	12,9%
Arts, spectacles et loisirs	14,6%	24,6%
Services d'enseignements	13,5%	16,2%
Total secteur	11,4%	10,2%
Soins de santé et assistance sociale privée	10,1%	20,6%
Construction	8,6%	20,1%
Administrations Publiques	7,3%	10,2%
Transport et entreposage	6,6%	20,7%
Fabrication	5,4%	12,4%
Services publiques	2,2%	14,9%
Hébergement et services de restauration	0,9%	11,8%
Agriculture, foresterie, chasse et pêche	0,9%	18,3%
Extraction de gaz, mines et pétrole	0,6%	14,0%

* Calculées à partir des proportions du capital en TIC dans secteurs industriels au Canada. (Voir texte pour méthodologie détaillée)

TABLEAU 4

Régression de la croissance de la productivité du travail sur les croissances de l'intensité du capital TIC, de l'intensité du capital Hors-TIC et la qualité de la main d'œuvre						
	MCO			Variables instrumentales		
Variables explicatives	Coefficient	Écart-Type	Prob.	Coefficient	Écart-Type	Prob.
K_TIC	0.038868	0.022084	0.0796	0.024717	0.020851	0.2372
K_Hors-TIC	0.612126	0.041390	0.0000	0.647816	0.039741	0.0000
Qualité de la main d'œuvre	-0.254945	0.044763	0.0000	-0.267918	0.044567	0.0000
Nombre d'observations	270			270		
R2 ajusté	0.636760			0.666850		

* La régression en données de panel (15 années pour 18 industries) inclut une variable dichotomique annuelle. Les variables instrumentales utilisées comprennent les retards d'une et de deux périodes de chaque variable dépendante. Le panel a de ce fait été réduit à 13 années pour 18 industries (234 observations).

TABLEAU 5

Régression de la croissance du progrès technologique sur les croissances de l'intensité du capital TIC, de l'intensité du capital Hors-TIC et la qualité de la main d'œuvre selon la méthode des MCO						
Variables explicatives	MCO			Variables instrumentales		
	Coefficient	Écart-Type	Prob.	Coefficient	Écart-Type	Prob.
K_TIC	0.010926	0.023366	0.6405	-0.001424	0.023222	0.2372
K_Hors-TIC	0.203616	0.043793	0.0000	0.242543	0.044259	0.0000
Qualité de la main d'œuvre	-0.758370	0.047361	0.0000	-0.771014	0.049634	0.0000
Nombre d'observations	234			234		
R2 ajusté	0.612034			0.666850		

* La régression en données de panel (15 années pour 18 industries) inclut une variable dichotomique annuelle. Les variables instrumentales utilisées comprennent les retards d'une et de deux périodes de chaque variable dépendante. Le panel a de ce fait été réduit à 13 années pour 18 industries (234 observations).