

Effet des coûts d'ajustement et du changement organisationnel sur la productivité au Canada : preuves tirées de données agrégées

Danny Leung¹
Banque du Canada

BEUCOUP D'ÉTUDES ONT EXAMINÉ les effets contemporains des investissements sur la production et la croissance de la productivité². Très peu ont cherché à connaître les effets à long terme des investissements de capital neuf sur la croissance de la productivité. Les investissements augmentent le stock de capital et, du même coup, la production, cependant, les coûts d'ajustement ou d'adoption peuvent au départ obscurcir de tels gains. Pour exploiter à fond la capacité productive intégrée dans le capital neuf, les entreprises doivent consacrer des ressources à l'intégration de la nouvelle technologie dans leurs procédés de production. Il peut alors s'agir de coûts directs, sous forme de coûts d'installation ou de formation. Par contre, ces coûts pourront être plus subtils en amenant l'entreprise à élaborer des façons d'utiliser la nouvelle technologie, ou encore ils pourront

être associés à l'application de changements organisationnels qui complèteront la mise en place des nouvelles technologies.

Lichtenberg (1988) a présenté des données factuelles sur les coûts d'ajustement non négligeables à l'échelon de l'entreprise. Plus récemment, Basu, Fernald et Shapiro (2001), Bessen (2002) et Kiley (1999) ont constaté que les coûts d'ajustement du capital diminuaient de 0,3 % à 0,5 points de pourcentage par année la croissance de la productivité multifactorielle (PMF) mesurée dans l'industrie manufacturière aux États-Unis et dans le secteur des entreprises non agricoles de ce même pays³. Toutefois, le paiement de ces coûts d'ajustement apporte effectivement des avantages. Brynjolfsson et Hitt (2000a, 2000b) et Stiroh (2002) prétendent que les co-investissements organisationnels complémentaires aux investissements dans la

1 L'auteur est économiste au Département des recherches de la Banque du Canada. La version intégrale de cet article est affichée à www.csls.ca sous Publications – *Observateur international de la productivité*. L'auteur remercie Allan Crawford, Bob Fay et les participants du séminaire à la Banque du Canada, ministère des Finances, et les membres de l'assemblée annuelle 2003 de l'Association canadienne d'économie de leurs suggestions et commentaires utiles. Les opinions exprimées dans ce document sont celles de l'auteur et n'engagent aucunement la responsabilité de la Banque du Canada. C. élect. : dleung@bankofcanada.ca.

2 Par exemple, Kiley (1999) et Oliner et Sichel (2000, 2002) utilisent le cadre de comptabilité de croissance néoclassique pour analyser les répercussions des investissements dans différents types de stock de capital sur la croissance de la productivité du travail aux États-Unis et les contributions sectorielles à la croissance de la productivité multifactorielle dans le secteur des entreprises non agricoles aux États-Unis. Au nombre des études qui recourent à de semblables techniques ainsi qu'à des données canadiennes, mentionnons Armstrong et al. (2002) et Khan et Santos (2002).

technologie de l'information et de la communication (TIC) débouchent sur une croissance de la production bien différente de la croissance attribuable à l'accumulation de capital en unités de qualité constante seulement. Étant donné que le processus de restructuration n'est pas toujours immédiat, le plein impact des investissements dans les nouvelles technologies peut prendre quelques années avant de se faire sentir. Comme suite aux coûts d'ajustement et au changement organisationnel complémentaire, les investissements dans l'équipement de la TIC ou dans tout autre type de capital intégrant une nouvelle technologie n'ont pas nécessairement sur la croissance de la production et sur la productivité un effet qui se limite simplement à une période.

On peut trouver dans Brynjolfsson et Hitt (2000a) et Basu et al. (2003) des données empiriques qui appuient le besoin d'examiner les effets décalés des investissements. Selon Brynjolfsson et Hitt, les effets de la croissance du capital informatique sur la croissance de la PMF sont de deux à cinq fois plus importants sur des périodes de cinq à sept ans que sur une période de un an; de leur côté, Basu et al. constatent que les industries aux États-Unis qui ont affiché des taux élevés de croissance du capital de la TIC au début des années 90 enregistraient des taux de croissance élevés de la PMF à la fin des années 90³.

Pour saisir l'effet complet des investissements dans les nouvelles technologies, le présent document examinera l'impact décalé de divers types d'investissement en capital sur la PMF au Canada. À l'aide d'une méthode reposant sur une estimation de la fonction de production, on

estime l'effet net des coûts d'ajustement du capital et des co-investissements complémentaires sur la croissance de la PMF. La première section aborde le lien entre les coûts d'ajustement, le changement organisationnel et la PMF. La deuxième section décrit les données et le cadre empirique utilisés pour cerner l'effet des investissements dans les nouvelles technologies. La troisième section présente les résultats. En recourant à des données agrégées pour le Canada entre 1961 et 2001, on constate que les effets des coûts d'ajustement sur la croissance globale de la PMF sont négligeables pour tous les types d'investissement en capital. Toutefois, les effets des investissements complémentaires, ou innovations, sont importants et se produisent le plus fortement trois ans après les premiers investissements dans le matériel informatique. Il est également manifeste que les effets des investissements complémentaires se renforcent avec le temps et que cette croissance peut expliquer environ le tiers du taux de croissance annuel moyen de la PMF depuis 1992. La dernière section présente un résumé et une conclusion.

La mesure des améliorations d'efficacité

La PMF a pour but de cerner la partie de la croissance qui ne peut s'expliquer par une augmentation du capital ou des intrants de travail. Elle représente le progrès technologique et les améliorations apportées à l'organisation de la production. La mesure de la PMF que produisent des organismes statistiques comme Statistique Canada ou le Bureau of Labor Statistics des États-Unis saisit aussi bien les effets de l'utilisation de la

3 Kiley estime l'ampleur des coûts d'ajustement dans l'ensemble de l'économie. Il constate que les coûts d'ajustement ont diminué de 0,5 point par année la croissance de la PMF mesurée depuis 1974. S'aidant de données au niveau de l'industrie, Basu, Fernald et Shapiro (2001) révèlent que les coûts d'ajustement ont diminué de 0,3 point par année pendant la période 1987-1999 le taux de croissance de la PMF moyenne mesurée. À l'aide de données provenant des industries manufacturières aux États-Unis, Bessen (2002) constate que les coûts d'ajustement ont diminué la croissance de la PMF de 0,4 point par année dans les années 70 et au début des années 80.

4 Brynjolfsson et Hitt (2000a) utilisent les données au niveau des entreprises aux États-Unis entre 1987 et 1994, tandis que Basu et al. (2003) utilisent les données au niveau des industries aux États-Unis entre 1987 et 1999.

capacité, les rendements d'échelle et la structure changeante du marché. Il faut tenir compte de ces facteurs avant de pouvoir mettre au jour un lien entre les coûts d'ajustement, le changement organisationnel et la PMF. Paquet et Robidoux (1997) trouvent très peu de données factuelles démontrant des économies d'échelle et des marges sur coût de revient tant pour le secteur des entreprises au Canada qu'aux États-Unis⁵. Pour cette raison, les explications présentées dans le reste de cette section et le travail empirique qui suit procèdent de deux hypothèses : des rendements d'échelle constants et une concurrence parfaite. En revanche, comme on admet généralement que l'utilisation du capital a un effet sur la PMF, les travaux empiriques présentés dans ce document en tiennent compte⁶.

Coûts d'ajustement au niveau agrégé

On peut penser que les coûts d'ajustement découlent des coûts liés à l'installation directe d'un nouvel équipement, à la formation des employés, à l'utilisation de ressources servant à explorer des méthodes permettant un plein emploi du capital, et à la réorganisation effectuée pour appliquer de telles méthodes. L'ampleur des coûts d'ajustement observés dans les études empiriques repose sur les méthodes et les données ayant servi à obtenir les estimations. Comme nous l'indiquons dans l'introduction, plusieurs communications (Lichtenberg, 1988; Kiley, 1999; Basu, Fernald et Shapiro, 2001; et Bessen, 2002) ont étudié l'ampleur des coûts

d'ajustement au niveau de l'entreprise et de l'industrie et au niveau agrégé. Elles supposent toutes que la fonction de production d'une entreprise représentative s'écrit comme suit⁷ :

$$Y_{ord} + Y_{adj} \left(\frac{I}{K} \right) = F(A, K, L), \quad (1)$$

où A est le progrès technologique désincorporé, K est l'intrant de capital, I est l'investissement, L est l'apport de travail, Y_{ord} est la production « ordinaire » de l'entreprise et Y_{adj} est la quantité de biens « aux coûts d'ajustement » que l'entreprise doit produire. La quantité de biens produits à leurs coûts d'ajustement s'insère dans le modèle sous forme d'une fonction croissante des investissements, I , par rapport au capital⁸. Les types de capital à ratios élevés sont des types de capital relativement nouveaux ou des types de capital comportant des taux de dépréciation élevés⁹. Les deux exemples sont des catégories de capital qui incorporent une nouvelle technologie. En premier lieu, il est normal de croire que des catégories de capital entièrement nouvelles incorporeraient les technologies les plus récentes. En deuxième lieu, un taux de dépréciation élevé pourrait indiquer une amélioration qualitative rapide liée à ce type de capital. Les ordinateurs et les autres types d'équipement de la TIC seraient compris dans ces deux catégories, et on croit généralement que leur introduction a été associée à des coûts d'ajustement.

Ni le facteur technologique, A , ni la quantité de biens à leurs coûts d'ajustement ne peuvent être observés d'une manière empirique. Cepen-

5 De plus, Baldwin, Gaudreault et Harchaoui (2000) estiment les taux de croissance de la PMF dans le secteur manufacturier canadien qui autorisent des marges sur coût de revient, des économies d'échelle et des fixités de capital. Ces auteurs constatent qu'un relâchement des hypothèses de rendements d'échelle constants et de marges zéro sur les coûts de revient n'a que relativement peu d'effets sur les estimations de la productivité.

6 Paquet et Robidoux (1997) supposent que l'utilisation de la capacité a un effet d'entrée de jeu et ils rectifient donc leur mesure de l'apport de capital pour utilisation avant de poursuivre leur analyse.

7 La notion de coûts d'installation pour de nouveaux biens d'investissement n'est pas récente. On peut en retrouver la trace d'aussi loin que Lucas (1967).

8 On peut aussi permettre que les coûts d'ajustement soient une fonction des retards du ratio investissements-capital, ou du ratio investissements-capital de différentes catégories de capital.

9 Pour le Canada, le ratio investissements-stock de capital pour les ordinateurs s'établissait à 0,42 en 2001. Par contraste, celui pour les bâtiments et ouvrages s'élevait à 0,06.

dant, lorsqu'on déplace les coûts d'ajustement sur le côté droit de l'équation et qu'on calcule par régression la production brute au moyen du capital, du travail et des investissements par rapport au capital, on obtient une estimation des coûts d'ajustement à l'aide de données provenant d'entreprises ou d'industries. Les coûts d'ajustement diminuent la productivité mesurée d'une entreprise ou d'une industrie parce qu'il y a une dépense de ressources. L'entreprise utilise les intrants pour produire les biens à leurs coûts d'ajustement, mais il n'y a aucune augmentation correspondante de la production ordinaire. Il est important de souligner que les coûts d'ajustement diminuent la productivité mesurée, laissant donc inchangée la vraie valeur sous-jacente de la PMF. Tant et aussi longtemps que la croissance des investissements dans les nouvelles technologies continuera d'être élevée, ou tant et aussi longtemps que des coûts d'ajustement surviendront à la suite d'une croissance des investissements passés, la mesure de la PMF sera inférieure à la PMF réelle. Dès que la croissance des investissements se stabilise, la croissance de la PMF mesurée augmentera à son niveau véritable, toutes autres choses étant égales. À cause des coûts d'ajustement, la croissance des investissements aura tendance à précéder de quelques périodes la croissance de la PMF mesurée.

Investissements dans les nouvelles technologies et améliorations d'efficience

Nous venons d'expliquer de quelle façon les investissements dans les nouvelles technologies menaient à des coûts d'ajustement et, par le fait même, à une mesure erronée de la PMF. La PMF n'est elle-même pas touchée par des investisse-

ments de ce type. Toutefois, Brynjolfsson et Hitt (2000a, 2000b) et Breshnahan, Brynjolfsson et Hitt (2002) donnent à penser que les investissements dans les nouvelles technologies peuvent apporter des gains d'efficience. Selon eux, l'ordinateur, en tant que technologie polyvalente, favorise les innovations technologiques et organisationnelles complémentaires. À leur tour, ces innovations apportent des augmentations de production au delà de celles qui découlent de la simple accumulation du capital informatique. Par exemple, on croit que la technologie de l'information et de la communication (TIC) facilite l'échange de l'information entre les travailleurs, et entre ceux-ci et la direction. Arnal, Ok et Torres (2001) prétendent que la forte association qui existe entre l'utilisation de la TIC et la présence de régimes de participation des employés, le travail d'équipe et la prise de décisions décentralisée démontre bien une telle relation. Ichniowski, Shaw et Gant (2002) laissent croire que, par contraste à une structure organisationnelle hiérarchique plus traditionnelle, une structure de gestion plus horizontale et davantage axée sur la participation que favorise la TIC permet à chaque travailleur de mieux accéder au capital humain des autres travailleurs, ce qui à son tour débouche sur une productivité accrue¹⁰. Étant donné qu'il s'écoule vraisemblablement une période entre l'introduction de la TIC et ses changements organisationnels qui visent à tirer profit de la nouvelle technologie, l'effet à long terme des investissements dans la nouvelle technologie sur la production devrait être plus marqué que l'effet à court terme. De fait, l'effet des investissements dans la technologie pourrait même être négatif à court terme, comme le laissent entendre Bryn-

10 Dans Ichniowski, Shaw et Gant (2002), la somme de capital humain à laquelle peut avoir accès un travailleur s'appelle le capital connectif individuel. La somme du capital connectif de chaque individu représente le capital connectif du lieu de travail. L'augmentation du nombre de liens entre les travailleurs donne lieu à une augmentation de la productivité et du capital connectif du lieu de travail. Ichniowski, Shaw et Gant (2002) citent d'autres études qui examinent les effets positifs des systèmes novateurs de gestion des ressources humaines, et ils présentent une partie de leurs propres données empiriques qu'ils ont recueillies auprès d'aciéries des États-Unis.

jolfsson et Hitt (2000b), lorsqu'on a affaire à des entreprises qui s'efforcent de maintenir le même niveau de production pendant la période de réorganisation.

Stiroh (2002) explique d'une autre façon les accroissements de la PMF qui proviennent d'investissements dans le capital de la TIC. Selon lui, la communication améliorée qu'engendre la TIC entre les entreprises entraîne dans le réseau des effets externes qui accroissent la productivité de tous les intéressés. Les investissements qu'effectue une entreprise dans la TIC conduisent à une productivité qui se répercute sur les autres entreprises du réseau. Comme l'admet Stiroh, il est difficile de départager les augmentations de productivité qui proviennent de l'innovation et du changement organisationnel découlant des investissements, et les améliorations attribuables aux effets externes du réseau. L'amélioration des communications entre entreprises à cause d'effets externes du réseau favorise les changements organisationnels, comme l'impartition et le contrôle des stocks juste-à-temps, mais cela ne signifie pas nécessairement qu'il faut attribuer les augmentations de productivité aux effets externes du réseau. En effet, l'accroissement observé au niveau de l'impartition et l'amélioration des systèmes de contrôle des stocks n'auraient peut-être pas vu le jour sans une amélioration des communications, cependant, les accroissements de productivité ne seraient peut-être pas survenus uniquement par les effets externes du réseau. Notre document tente de trouver des liens manifestes entre les investissements et la croissance de la PMF sans toutefois faire la distinction entre les deux explications différentes.

Non seulement est-il difficile de départager les effets des liens de communication améliorés au sein de l'entreprise de ceux qui existent entre les entreprises, mais il est également difficile de distinguer les effets des coûts d'ajustement de ceux qui découlent des innovations complémen-

taires. Il semble que les coûts d'ajustement et les innovations complémentaires découleraient des investissements dans la nouvelle technologie. Pour cette raison, tout indicateur d'investissement dans la nouvelle technologie, comme le ratio investissements-capital, devrait donc se traduire à la fois par des coûts d'ajustement et des innovations complémentaires. Par conséquent, il n'est possible de dégager que l'effet net des coûts d'ajustement et des innovations complémentaires. La seule différence se situe dans la période pendant laquelle les rapports se créent. Selon ce que conclut Bessen (2002), on s'attend à ce que les effets négatifs des coûts d'ajustement se produisent uniquement dans les deux premières années après les investissements initiaux, tandis que Brynjolfsson et Hitt (2000a) donnent à penser que les effets positifs des effets complémentaires devraient être plus forts à mesure que le temps s'écoule.

On s'attendrait aussi à ce que l'effet net des coûts d'ajustement et des innovations complémentaires augmente avec le temps au fur et à mesure d'une plus grande accumulation de capital intégrant les nouvelles technologies. Il est probable que les augmentations de productivité découlant de meilleurs liens de communication entre les entreprises et au sein de celles-ci ne peuvent survenir qu'après un certain stock de capital seuil. On ne s'attendrait pas à ce que la productivité s'accroisse de façon notable si une poignée d'employés seulement ont accès à un matériel des TIC, pas plus qu'on ne s'attendrait à ce que des externalités de réseau se mettent en place si un petit nombre seulement d'entreprises investissent dans les TIC. En revanche, les coûts d'ajustement par unité d'investissement devraient diminuer si l'on accumule un stock de capital élevé une fois le processus d'installation et de restructuration peaufiné. Pour ces raisons, l'effet net des coûts d'ajustement et des innovations complémentaires sera vraisemblablement une fonction croissante du stock de capital.

Cadre empirique et données

Nous décrivons dans la présente section les données et expliquons de quelle façon on peut reconnaître l'effet, sur la PMF, de l'utilisation de la capacité et les effets nets des coûts d'ajustement et des innovations complémentaires aux investissements dans la nouvelle technologie.

Données

L'analyse principale dans notre document reposait sur les données annuelles pour le Canada, obtenues du CANSIM, pour la période 1961-2001. Les mesures de la PMF, des investissements, de l'hyperbole du stock de capital net en fin d'exercice¹¹ et du nombre annuel d'heures concernant en général le secteur des entreprises. Font exception les mesures des investissements et du capital pour le matériel informatique, l'équipement de télécommunications et les logiciels, les mesures de la production en dollars courants et de la rémunération du travail servant à calculer l'apport du travail dans la production, et enfin la mesure de l'utilisation de la capacité industrielle¹². Les mesures des investissements et du capital dans le matériel informatique et dans l'équipement de télécommunications et les logiciels se rapportent au secteur des entreprises non agricoles. Étant donné que l'industrie agricole intervient vraisemblablement pour une partie infime seulement des investissements et des stocks de ces types de capital, cette divergence ne devrait pas trop influencer sur les résultats. La part du travail dans la production nominale s'applique à l'ensemble de l'économie, car le PIB en dollars courants n'était disponible pour le secteur des entreprises que jusqu'à 1999 lorsque nous avons entrepris ce travail empirique. La série sur l'utilisation de la capacité industrielle

s'applique aux industries de biens non agricoles. La version intégrale du document explique pourquoi l'utilisation de ces deux séries n'a pas de répercussions sur les résultats principaux du document.

Cadre empirique

Comme nous le décrivons dans la section précédente, divers facteurs influent sur la mesure de la PMF : rendements d'échelle, concurrence imparfaite, utilisation de la capacité, coûts d'ajustement et technologie. Supposons qu'une simple fonction agrégative de production Cobb-Douglas donne la relation suivante :

$$\Delta \ln Z_t - (1 - \alpha_t) \Delta \ln CU_{Kt} = \Delta \ln A_t - \Delta \Phi_t, \quad (2)$$

où $\Delta \ln Z_t$ est la variation du logarithme de la PMF mesurée dans l'année t à partir de $t-1$, α_t est la part de la production nominale représentée par le travail, $\Delta \ln CU_{Kt}$ est la variation du logarithme du taux d'utilisation de la capacité, $\Delta \ln A_t$ est la variation du logarithme de la technologie et $\Delta \Phi_t$ est la variation des coûts d'ajustement. On observe les variables sur le côté gauche de l'équation. Ensemble, le côté gauche représente la croissance de la PMF mesurée, corrigée en fonction de l'utilisation de la capacité ou de la PMF désaisonnalisée. Les variables sur le côté droit de l'équation ne sont pas observées. En supposant que les innovations et le changement organisationnel complémentaires aux investissements dans la nouvelle technologie soient des facteurs déterminants de A , et que les activités complémentaires et les coûts d'ajustement soient des fonctions du ratio investissements-stock de capital, on peut obtenir une équation d'estimation :

11 La mesure du stock de capital repose de manière critique sur la façon dont la dépréciation est calculée dans le modèle. Cependant, la principale conclusion de notre document ne dépend pas du profil de dépréciation posé en hypothèse. Pour plus de détails à ce sujet, prière de se reporter à la version intégrale du document. De plus, on constate que la conclusion principale demeure valable même si l'on utilise le stock de capital brut.

12 Les investissements et le stock de capital pour les ordinateurs et pour l'équipement de télécommunications et les logiciels proviennent de Statistique Canada mais ne sont pas disponibles dans CANSIM.

$$\Delta \ln Z_t - (1 - \alpha_t) \Delta \ln CU_{Kt} = \beta_0 + \beta_1 \Delta \ln \left(\frac{I_t}{K_t} \right) + \varepsilon_t, \quad (133)$$

où ε est un terme d'erreur et β_1 représente l'effet net des coûts d'ajustement et des innovations complémentaires sur une PMF désaisonnalisée. Les retards du ratio des investissements-stock de capital, I/K , peuvent aussi être ajoutés pour tenir compte des situations où l'effet des coûts d'ajustement et des innovations complémentaires sont répartis entre un certain nombre de périodes.

Résultats

La première colonne du tableau 1 présente les estimations de l'équation des moindres carrés ordinaires (3)¹⁴. La variable dépendante est la croissance de la PMF corrigée en fonction de l'utilisation de la capacité. Les variables indépendantes sont la croissance I/K et ses retards en ce qui concerne le matériel informatique. On a aussi tenté de calculer les régressions en utilisant la croissance I/K pour l'ensemble des investissements, les machines et le matériel ainsi que la TIC, mais nous n'avons pu obtenir des résultats statistiquement significatifs¹⁵. De fait, seul le troisième retard de la croissance I/K pour le matériel informatique est positif et significatif. Il n'est pas surprenant que la croissance I/K et ses retards pour l'ensemble des investissements et pour les machines et le matériel ne soient pas significatifs. L'ensemble des investissements comprend les bâtiments et ouvrages, tandis que les machines et le matériel comprennent les meubles de bureau, les articles d'ameublement, les automobiles, les camions, les locomotives et

Tableau 1

Effet net des activités complémentaires, 1961-2001

	Croissance de la PMF désaisonnalisée	Croissance de la PMF	Croissance de la productivité du travail
$\Delta \ln(K_t/L_t)$	—	—	0,3735 (2,43)
$\Delta \ln(CU_{Kt})$	—	0,4230 (5,74)	0,4331 (6,14)
$\Delta \ln(I_t/K_t)$	-0,0003 (0,02)	-0,0015 (0,12)	-0,0061 (0,46)
$\Delta \ln(I_{t-1}/K_{t-1})$	0,0040 (0,26)	0,0067 (0,32)	-0,0002 (0,01)
$\Delta \ln(I_{t-2}/K_{t-2})$	0,0073 (0,32)	0,0086 (0,38)	0,0068 (0,29)
$\Delta \ln(I_{t-3}/K_{t-3})$	0,0460 (2,91)	0,0458 (2,73)	0,0407 (2,03)
Constante	0,6812 (1,91)	0,6827 (1,83)	1,034 (2,89)

Notes : La variable dépendante figure dans la rubrique de la colonne. Les variables indépendantes sont le taux de croissance du ratio investissements-capital pour le matériel informatique et ses retards. Les statistiques-t sont entre parenthèses. Le nombre de retards est choisi à l'aide du critère d'information d'Akaike.

l'équipement des ménages. Bien que ces types de capital puissent incorporer une nouvelle technologie, on ne les associe habituellement pas à la création de réseaux ou d'innovations complémentaires qui accroissent la PMF. Il est quelque peu surprenant que la croissance I/K du matériel de TIC soit peu importante. Toutefois, du point de vue de Lehr et Lichtenberg (1999) et de Brynjolfsson et Hitt (2000a), c'est uniquement dans les investissements informatiques qu'il est le plus manifeste que les investissements de capital influent sur la PMF.

Il est surprenant que seul le troisième retard de la croissance I/K pour le matériel informatique soit positif et significatif. Cela pourrait découler de la stratégie de modélisation, qui corrige plus particulièrement la croissance de la

13 Voir la version intégrale pour plus de détails sur la dérivation de l'équation d'estimation.

14 Nous présentons partout dans ce document les statistiques-t qui tiennent compte de la corrélation propre dans le terme d'erreur. De plus, même si le stock de capital est largement prédéterminé, l'investissement est une variable endogène. Par conséquent, il peut y avoir un biais de simultanéité. Cependant, les estimations de la variable instrumentale (la croissance I/K en dollars canadiens courants découle de sa contrepartie aux États-Unis) sont semblables à celles qui sont présentées ici. Pour plus de détails, prière de se reporter à la version intégrale du document.

15 Pour plus de détails, prière de se reporter à la version intégrale.

Tableau 2
Effet net des activités complémentaires,
1961-1981, 1982-2001

	1961-1981	1982-2001
$\Delta \ln(I_t/K_t)$	-0,0519 (2,51)	0,0376 (1,79)
$\Delta \ln(I_{t-1}/K_{t-1})$	-0,0514 (1,53)	0,0475 (2,32)
$\Delta \ln(I_{t-2}/K_{t-2})$	—	0,0294 (1,04)
$\Delta \ln(I_{t-3}/K_{t-3})$	—	0,0548 (3,45)
Constante	2,4736 (8,53)	0,3182 (1,17)

Notes : La variable dépendante est la croissance de la PMF corrigée de l'utilisation de la capacité. Le taux de croissance du ratio investissements-capital s'applique au matériel informatique. Le nombre de retards est choisi à l'aide du critère d'information d'Akaike. Les retards statistiquement non significatifs ont été supprimés. Les statistiques-t figurent entre parenthèses.

PMF selon l'utilisation de la capacité au lieu de l'estimer, et qui utilise la croissance de la PMF comme variable dépendante au lieu de la productivité du travail. Pour vérifier la robustesse de la conclusion, on calcule par régression la croissance non corrigée de la PMF par rapport au taux de croissance de l'utilisation de la capacité ainsi qu'à la croissance I/K pour le matériel informatique et ses retards. De plus, on calcule la régression de la croissance de la productivité du travail par rapport au taux de croissance du ratio capital-travail, au taux de croissance de l'utilisation de la capacité et à la croissance I/K du matériel informatique et de ses retards. Les colonnes deux et trois du tableau 1 présentent les résultats de ces régressions. Dans les deux régressions, parmi les retards de la croissance I/K du matériel informatique, seul le troisième est significatif¹⁶. Le résultat surprenant n'est donc pas attribuable à l'approche de modélisation utilisée dans notre document.

Si le troisième retard de la croissance I/K du matériel informatique est le seul à être significatif, c'est peut-être parce que les effets négatifs des coûts d'ajustement annulent les effets positifs de tout changement organisationnel et des innovations complémentaires. Cependant, avant de tirer cette conclusion, il faut examiner d'autres explications possibles¹⁷. Le profil de dépréciation du matériel informatique peut être la cause. En effet, un ordinateur perd la plus grande partie de sa valeur à cause de la dépréciation dès la troisième année. Si la valeur comptable du capital informatique chute de façon marquée dans la troisième année après un investissement élevé, mais que les ordinateurs servent toujours, la PMF augmentera alors puisque la production semblerait être produite avec moins de capital. Enfin, la période d'analyse peut être trop longue compte tenu de la question examinée. Les ordinateurs n'ont pas connu une utilisation généralisée avant le début des années 80. Il peut donc y avoir eu une solution de continuité structurale dans les données de sorte que l'utilisation limitée des ordinateurs avant 1980 n'a pas donné lieu à des coûts d'ajustement ni à des changements organisationnels d'un niveau susceptible d'être décelé à l'aide de données agrégées.

Pour vérifier si le troisième retard de la croissance I/K du matériel informatique est significatif à cause de la dépréciation rapide possible du capital informatique dans la troisième année de son cycle de vie, on a utilisé, comme facteur de régression, les investissements proportionnés au stock de capital plutôt que les investissements proportionnés au capital net de toute dépréciation. On constate que les résultats obtenus à l'aide du stock de capital ne sont pas très différents de ceux qu'on obtient au moyen du stock de capital net¹⁸. Pour cette raison, si le troisième retard de la croissance

16 Les conclusions pour les autres types de capital ne diffèrent pas non plus de façon importante selon les différentes stratégies de modélisation utilisées.

17 La version intégrale du document examine d'autres explications économétriques possibles, comme la multicolinéarité et le biais des variables omises.

18 Pour plus de détails, prière de se reporter à la version intégrale.

I/K du matériel informatique est important, ce n'est pas à cause de la dépréciation rapide du matériel informatique.

Pour déterminer s'il y avait une solution de continuité structurale dans les données, on a fractionné l'échantillon en deux périodes : avant 1982 et après 1981. On a ensuite effectué des régressions sur les sous-échantillons. Le point de rupture de 1982 est arbitraire, mais il fractionne effectivement l'échantillon exactement en son milieu et il correspond à peu près au moment où l'utilisation des ordinateurs a commencé à se généraliser. Les résultats du tableau 2 révèlent que l'effet de la croissance I/K du matériel informatique sur la croissance désaisonnalisée de la PMF est fort différent d'un sous-échantillon à l'autre¹⁹. Seul le premier sous-échantillon, c'est-à-dire de 1961 à 1981, révèle que les coûts d'ajustement sont associés à la croissance I/K de la période t pour le matériel informatique. En revanche, les effets positifs des innovations complémentaires et du changement organisationnel apparaissent uniquement dans la période 1982-2001. Dans la régression 1982-2001, la croissance de I/K pour le matériel informatique pour la période t est positive et significative au niveau de 10 %, tandis que la croissance de I/K pour la période $t-1$ et $t-3$ est positive et significative aux niveaux de 5 % et de 1 % respectivement. Dans l'ensemble, les résultats du tableau 2 semblent confirmer que les effets négatifs des coûts d'ajustement annulent les effets positifs des innovations et du changement organisationnel complémentaires et que les effets négatifs des coûts d'ajustement diminuent pendant que les effets positifs du changement organisationnel complémentaire s'accroissent avec le temps.

Tableau 3
Importance de la taille du stock de capital accumulé

	Croissance désaisonnalisée de la PMF
$\Delta \ln(I_t/K_t)$	-0,0128 (1,22)
$\Delta \ln(I_{t-1}/K_{t-1})$	-0,0043 (0,29)
$\Delta \ln(I_{t-2}/K_{t-2})$	-0,0076 (0,62)
$\Delta \ln(I_{t-3}/K_{t-3})$	0,0202 (1,56)
$\Delta \ln(I_t/K_t) \times K_t/Y_t$	0,0418 (1,88)
$\Delta \ln(I_{t-1}/K_{t-1}) \times K_{t-1}/Y_{t-1}$	0,0536 (2,54)
$\Delta \ln(I_{t-2}/K_{t-2}) \times K_{t-2}/Y_{t-2}$	0,1096 (3,27)
$\Delta \ln(I_{t-3}/K_{t-3}) \times K_{t-3}/Y_{t-3}$	0,1420 (3,35)
t	-0,0979 (-3,45)
Constante	2,8126 (3,93)

Notes : La variable dépendante est la croissance de la PMF corrigée de l'utilisation de la capacité. Les chiffres des investissements et du stock de capital s'appliquent au matériel informatique. Les statistiques- t figurent entre parenthèses.

Les résultats du tableau 2 appuient aussi l'hypothèse que, avant le début des années 80, l'ajout d'ordinateurs au reste des intrants provoquait effectivement une diminution de la croissance de la PMF; les coûts d'ajustement étaient sans doute élevés parce que les ordinateurs de cette époque n'étaient pas aussi « conviviaux » que ceux de la génération actuelle. La PMF n'a pas connu de gains positifs avant le début des années 80 étant donné le besoin d'accumuler une masse critique de capital informatique avant que les améliorations du réseautage ne déclenchent des innovations organisationnelles.

19 Les régressions calculées sur les sous-échantillons à l'aide des ratios I/K pour les autres types de capital, pour l'ensemble des machines et du matériel et pour la TIC n'indiquent pas que la croissance I/K a eu un effet différent sur la productivité. Toutes les estimations de coefficient, autres que la constante, demeurent différentes de zéro d'une façon non significative. Une régression utilisant comme facteur la croissance I/K pour les logiciels au cours de la période 1982-2001 ne révèle à peu près aucun effet positif décalé. Toutefois, ces effets disparaissent dès qu'on tient compte dans la régression de la croissance I/K pour le matériel informatique.

Pour valider davantage cette hypothèse, nous incluons comme variable explicative l'interaction entre la croissance I/K pour le matériel informatique et le rapport entre le capital informatique et la production, K/Y ²⁰. Le terme d'interaction permet à l'effet de la croissance I/K d'évoluer en fonction des augmentations de K/Y . S'il faut une masse critique d'ordinateurs, les coefficients de la croissance I/K devraient être négatifs et les coefficients des termes d'interaction devraient être positifs. Si le stock d'ordinateurs est inexistant ou infime, l'effet négatif des coûts d'ajustement devrait prédominer. À mesure que le stock d'ordinateurs prend de l'expansion, l'effet des innovations complémentaires devrait s'agrandir. Les résultats figurent au tableau 3²¹. Conformément à l'hypothèse qu'une masse critique de matériel informatique doit être en place pour appuyer les innovations complémentaires et le changement organisationnel, les coefficients de la croissance I/K sont négatifs et les coefficients des termes d'interaction sont positifs.

Enfin, il serait intéressant de voir à quel point la croissance de I/K pour le capital informatique peut expliquer la prétendue revitalisation de la PMF depuis 1992. Pour évaluer l'ampleur de l'effet du changement organisationnel et des innovations complémentaires sur la croissance de la PMF pendant cette période, nous avons multiplié les valeurs moyennes du ratio I/K pour le matériel informatique et ses retards par les coefficients correspondants provenant de la deuxième colonne du tableau 2. La seule exception est attribuable au fait que le coefficient du second retard est ramené à zéro parce qu'il n'a aucune importance statistiquement significative. Le taux de croissance annuel moyen de la PMF entre 1992 et 2001 s'établit à 1,23 %. Le

taux de croissance moyen désaisonnalisé de la PMF est plus faible, se fixant à 1,07 %, parce que la croissance annuelle moyenne de l'utilisation de la capacité est légèrement positive. La croissance I/K pour le matériel informatique intervient donc pour 0,37 % de la croissance désaisonnalisée de la PMF, c'est-à-dire environ le tiers du taux annuel moyen de croissance de la PMF.

Conclusion

Nous avons démontré dans ce document que les investissements dans le matériel informatique donnent lieu à une croissance de la production et de la productivité qui est supérieure à celle qui provient de la seule accumulation d'un capital informatique. Toutefois, une bonne partie de ces gains ne se produisent pas immédiatement. Le plein impact des investissements informatiques n'a donc lieu que trois ans après l'investissement initial. Si l'on croit que de tels gains proviennent du changement organisationnel ou d'autres innovations complémentaires, comme c'est le cas dans notre document, on pourrait alors penser qu'il advient une période d'apprentissage avant que les entreprises ne prennent conscience du plein potentiel de la nouvelle technologie et qu'elles ne commencent à mettre en œuvre les nouveaux procédés. Il est important de souligner que ces résultats ne signifient pas que les investissements informatiques ne donnent pas lieu à une augmentation immédiate de la production, mais plutôt qu'ils font passer la production à des niveaux supérieurs à ceux qu'on attendrait habituellement des méthodes traditionnelles de comptabilité de la croissance. Toutefois, ces gains supplémentaires prennent du temps à se concrétiser.

20 Le capital informatique est proportionné à la production afin de tenir compte de la taille de l'économie. Le stock donné d'ordinateurs peut être suffisamment important pour déclencher des innovations organisationnelles dans une petite économie, mais insuffisant dans une économie plus vaste. De plus, étant donné que K/Y est une série lissée qui s'accroît dans le temps, on inclut aussi dans la régression une tendance chronologique de manière que le terme d'interaction ne saisisse pas la tendance descendante de la croissance de la PMF.

21 Le tableau 3 recourt au capital brut du matériel informatique dans le calcul de I/K et K/Y . La conclusion tirée des résultats du tableau 3 ne change pas lorsqu'on utilise le capital net de toute dépréciation.

Malgré l'accalmie actuelle dans les investissements, les résultats de notre document laissent croire que la productivité devrait s'accroître au fur et à mesure que les entreprises continueront d'intégrer les nouvelles technologies dans leurs procédés de production. De fait, pour expliquer la poussée de productivité qui s'est produite aux États-Unis après l'effondrement des investissements massifs dans la TIC, on a avancé l'idée d'activités complémentaires décalées. Nos conclusions révèlent que l'effet des activités complémentaires au Canada atteint son maximum trois ans après l'investissement initial dans le matériel informatique. Le Canada devrait donc recevoir en ce moment les avantages des investissements complémentaires. Toutefois, le moment de ces investissements complémentaires dépend vraisemblablement de la conjoncture. Comme la réorganisation des procédés de production ne se fait pas sans coûts, les entreprises sont susceptibles d'attendre les conditions propices aux changements. D'autres études portant sur l'expérience d'unités plus désagrégées devraient jeter de la lumière sur cette question du moment des investissements.

Références

- Armstrong, P., T. M. Harchaoui, C. Jackson et F. Tarkhani (2002) « Une comparaison de la croissance économique au Canada et aux États-Unis à l'âge de l'information, 1981-2000 : L'importance de l'investissement dans les technologies de l'information et des communications », Statistique Canada, Division de l'analyse micro-économique, Document de recherche en analyse économique, série n° 1, n° 15-204 au catalogue.
- Arnal, E., W. Ok et R. Torres (2001) « Knowledge, Work Organization and Economic Growth », OECD, Labour Market and Social Policy – Occasional Paper No. 50.
- Baldwin, J. R., V. Gaudreault et T. M. Harchaoui (2000) « Croissance de la productivité dans le secteur canadien de la fabrication : une alternative au cadre traditionnel », dans *Croissance de la productivité au Canada*, Statistique Canada, n° 15-204 au catalogue.
- Basu, S., J. G. Fernald et M. D. Shapiro (2001) « Productivity Growth in the 1990s: Technology, Utilization, or Adjustment? » National Bureau of Economic Research, Working Paper No. 8359.
- Basu, S., J. G. Fernald, N. Oulton et S. Srinivasan (2003) « The Case of the Missing Productivity Growth: Or, Does Information Technology Explain Why Productivity Accelerated in the United States but not the United Kingdom », Federal Reserve Bank of Chicago, Working Paper No. 2003-08.
- Bessen, J. (2002) « Technology Adoption Costs and Productivity Growth: The Transition to Information Technology », *Review of Economic Dynamics* Volume 5, pp. 443-469.
- Breshnahan, T. F., E. Brynjolfsson et L. Hitt (2002) « Information Technology, Workplace Organization, and the Demand For Skilled Labor: Firm-Level Evidence », *Quarterly Journal of Economics*, Volume 117, Number 1, pp. 339-376.
- Brynjolfsson, E. et L. Hitt (2000a) « Computing Productivity: Firm-Level Evidence », Center for eBusiness @ MIT, Paper 139.
- Brynjolfsson, E. et L. Hitt (2000b) « Beyond Computation: Information Technology, Organizational Transformation and Business Performance », *Journal of Economic Perspectives*, Volume 14, Number 4, pp. 23-48.
- Ichniowski, C., K. Shaw et J. Gant (2002) « Working Smarter By Working Together: Connective Capital in the Workplace », Columbia University, manuscrit non publié.
- Khan, H. et M. Santos (2002) « Contribution of ICT Use to Output and Labour-Productivity Growth in Canada », Bank of Canada Working Paper No. 2002-7.
- Kiley, M. T. (1999) « Computers and Growth with Costs of Adjustment: Will the Future Look Like the Past? » Board of Governors of the Federal Reserve System, Finance and Economics Discussion Paper No. 36.
- Lehr, B. et F. Lichtenberg (1999) « Information Technology and Its Impact on Firm-Level Productivity: Evidence From Government and Private Data Sources, 1977-1993 », *Canadian Journal of Economics*, Volume 32, Number 2, pp. 335-362.
- Lichtenberg, F. (1988) « Estimation of the Internal Adjustment Costs Model Using Longitudinal Establishment Data », *Review of Economics and Statistics*, Volume 70, Number 3, pp. 421-430.
- Lucas, R. E. (1967) « Adjustment Costs and the Theory of Supply », *Journal of Political Economy*, Volume 75, pp. 321-334.
- Oliner, S. D. et D. E. Sichel (2000) « The Resurgence of Growth in the Late 1990s: Is Information Technology the Story », Board of Governors of the Federal Reserve System,

- Finance and Economics Discussion Paper No. 20.
- Oliner, S. D. et D. E. Sichel (2002) « Information Technology and Productivity: Where Are We Now and Where Are We Going? » Board of Governors of the Federal Reserve System, Finance and Economics Discussion Paper No. 29.
- Paquet, A. et B. Robidoux (1997) « Issues on Measurement of the Solow Residual and the Testing of Its Exogeneity: A Tale of Two Countries », Center for Research on Economic Fluctuations and Employment, University of Québec at Montréal, Working Paper No. 51.
- Stiroh, K. J. (2002) « Are ICT Spillovers Driving the New Economy? » *Review of Income and Wealth*, Volume 48 Number 1, pp. 33-57.