

**DIRECTION DES ÉTUDES ANALYTIQUES
DOCUMENTS DE RECHERCHE**

La série de documents de recherche de la Direction des études analytiques permet de faire connaître, avant leur publication, les travaux de recherche effectués par le personnel de la direction, les boursiers invités et les universitaires associés. Cette série a pour but de favoriser la discussion sur divers sujets, notamment le travail, la dynamique des entreprises commerciales, les pensions, l'agriculture, la mortalité, la langue, l'immigration, la statistique informatique et la simulation. On incite les lecteurs à faire part aux auteurs de leurs commentaires, critiques ou suggestions. Une liste des titres figure à l'arrière de ce document.

Les documents de la série sont distribués aux bureaux régionaux de Statistique Canada, aux représentants statistiques des provinces, aux instituts de recherche et aux bibliothèques spécialisées. Vous pouvez vous procurer une copie du document par internet: www.statcan.ca.

Pour obtenir un ensemble de résumés des documents de la série ou un exemplaire des documents (en français ou en anglais), veuillez communiquer avec:

Comité de révision des publications
Direction des études analytiques, Statistique Canada
24^e étage, Immeuble R.-H. Coats
Ottawa, Ontario, K1A 0T6
(613) 951-6325

Les facteurs déterminants des retards en matière d'adoption des technologies de fabrication de pointe

par

* John R. Baldwin

et

** Mohammed Rafiquzzaman

N° 117

11F0019MPF N° 117

ISSN:1200-5231

ISBN: 0-660-96009-5

* Division de l'analyse micro-économique
24^{ième} étage, Immeuble R.-H. Coats, Ottawa, K1A 0T6
Statistique Canada
Télécopieur (613) 951-5403
(613) 951-8588
E-mail: baldjoh@statcan.ca

** Anciennement de Statistique Canada
et actuellement avec
Industrie Canada

Août 1998

Un résumé de ce document, choisi parmi les documents présentés à la «Seventh International Conference on Management Technology» a été publié dans «*Management of Technology, Sustainable Development and Eco-Efficiency*», édité par Louis A. Lefebvre, Robert M. Mason et Tarek Khalil. Elsevier Science Ltd., UK. 1998.

Ce document reflète les opinions des auteurs uniquement et non celles de Statistique Canada.

Also available in English

Table des matières

RÉSUMÉ	V
1. INTRODUCTION.....	1
2. SOURCES DES DONNÉES ET RECOURS AUX TECHNOLOGIES DE POINTE DANS LE SECTEUR MANUFACTURIER CANADIEN	4
3. RECOURS À LA TECHNOLOGIE ET RETARDS D'ADOPTION	6
4. ÉTAPES CONCEPTUELLES PRÉCÉDANT L'ADOPTION D'UNE TECHNOLOGIE PAR UNE ENTREPRISE	8
<i>Un modèle d'adoption</i>	<i>9</i>
4.1. Avantages de la nouvelle technologie	11
<i>Avantages</i>	<i>11</i>
<i>Coûts</i>	<i>12</i>
<i>Proximité géographique des fournisseurs</i>	<i>12</i>
4.2. Caractéristiques de l'entreprise	13
<i>Caractéristiques de l'entreprise liées aux connaissances et à l'expérience.....</i>	<i>13</i>
<i>Importance des investissements.....</i>	<i>13</i>
<i>Capacités technologiques.....</i>	<i>13</i>
<i>Fréquence de l'utilisation des technologies</i>	<i>14</i>
<i>Nationalité de l'entreprise</i>	<i>14</i>
<i>Taille de l'entreprise.....</i>	<i>14</i>
<i>Diversification.....</i>	<i>15</i>
<i>Âge</i>	<i>15</i>
4.3. Environnement de la structure de l'industrie/du marché.....	15
5. LA STRUCTURE EMPIRIQUE	16
6. DÉFINITIONS DES VARIABLES EXPLICATIVES.....	18
6.1. Avantages de la nouvelle technologie	18
<i>Avantages</i>	<i>18</i>
<i>Coûts</i>	<i>18</i>
<i>Proximité géographique des fournisseurs</i>	<i>18</i>
6.2. Caractéristiques de l'entreprise	19
<i>Importance des investissements.....</i>	<i>19</i>
<i>Taille de l'entreprise.....</i>	<i>19</i>
<i>Diversification.....</i>	<i>19</i>
<i>Nationalité de l'entreprise</i>	<i>19</i>
<i>Capacités technologiques.....</i>	<i>19</i>
<i>Fréquence d'utilisation des technologies</i>	<i>20</i>
6.3. Environnement de la structure de l'industrie/du marché.....	20
7. RÉSULTATS.....	21
<i>De plus amples résultats : les effets marginaux</i>	<i>23</i>
8. DISCUSSION ET CONCLUSIONS.....	24
RÉFÉRENCES.....	31

Résumé

Dans le présent, sont examinés les facteurs déterminants des retards en matière d'adoption des technologies de pointe dans le secteur des entreprises. On y utilise des données portant sur les retards d'adoption au niveau des entreprises (c'est-à-dire la période de temps écoulée entre le moment où l'entreprise prend conscience de l'existence d'une technologie donnée et l'adoption de celle-ci), afin de déterminer à quel point le retard d'adoption agit en fonction des avantages et des coûts associés à l'adoption de la technologie, de même que certaines caractéristiques qui font office de substituts à la capacité d'absorber de l'entreprise.

Selon la théorie de l'économie, que procure la diffusion des technologies de pointe devrait être liée aux avantages que procure l'adoption de nouvelles technologies. D'autres études ont eu à remplacer les avantages par des caractéristiques environnementales, notamment la proximité des marchés, la fertilité des terres et la taille de l'entreprise. Ici, on a recours à des faits plus directs tirés de l'Enquête sur les innovations et les technologies de pointe 1993 en ce qui a trait aux propres évaluations de l'entreprise quant aux avantages et aux coûts liés à l'adoption en question, de même qu'aux mesures de la compétence technologique dans son ensemble. Ces deux facteurs s'avèrent être des facteurs déterminants d'une grande importance quant aux retards d'adoption. La proximité géographique des fournisseurs vient réduire les retards d'adoption. Les variables ayant servi antérieurement de substitus aux avantages liés à l'adoption d'une technologie—des variables telles que les entreprises d'une grande taille, une date de création récente et une plus grande diversification de la part de l'entreprise mère viennent aussi réduire les retards d'adoption—mais elles ont un effet beaucoup moins important que la mesure directe des avantages et la compétence de l'entreprise.

Mots-clés : technologie, diffusion, retards d'adoption, classification JEL :

1. Introduction

La diffusion des innovations technologiques, c.-à-d. le processus par lequel l'utilisation de la nouvelle technologie se propage, représente un élément clé du changement technique et de la croissance économique. La croissance économique découle du progrès technologique, qui dépend, à son tour, de l'apport de nouvelles technologies et du rythme auquel ces technologies sont diffusées de par l'économie (Nabseth et Ray, 1974). En raison de son importance, le processus de diffusion a fait l'objet de toutes les attentions¹. Différentes propositions théoriques ont été suggérées afin de modéliser la décision des entreprises quant à l'adoption des innovations (Davies, 1979, et Stoneman, 1986). De nombreuses études empiriques se sont focalisées sur les facteurs déterminants de la diffusion².

Dans les documents traitant de l'adoption comme telle, on retrouve trois courants distincts d'analyse³. Le premier est celui du modèle épidémique de diffusion de la technologie selon Mansfield, qui demeure toujours un outil de recherche de base tant pour l'analyse théorique que pour l'analyse empirique⁴. Même si le modèle de Mansfield a souvent donné des résultats empiriques plausibles, on a émis des critiques en raison d'un manque de fondement selon le modèle behavioriste de l'entreprise (Stoneman, 1983). Les courbes de diffusion utilisées par Mansfield, qui viennent décrire la tendance cumulative des adopteurs d'une nouvelle technologie, se veulent un modèle du comportement des entreprises dans l'ensemble. Par conséquent, il est inévitable qu'elles ne puissent pas expliquer pourquoi certaines entreprises adoptent une nouvelle technologie ou une nouvelle innovation plus tôt que d'autres. Par contraste, les études portant sur l'adoption se focalisent sur les facteurs qui provoquent des variations dans le taux de diffusion dans les entreprises, ou sur les facteurs qui incitent certaines entreprises à adopter un plus grand nombre de nouvelles technologies que d'autres (Stoneman, 1986).

Le deuxième type d'analyse fait appel à la théorie des jeux, telle que développée par Dasgupta et Stiglitz (1980), Dasgupta (1986), Reinganum (1981a, 1981b), Fudenberg et Tirole (1985) et Tirole (1988). La théorie des jeux avance que la rentabilité de la nouvelle technologie, combinée aux pressions exercées par la concurrence visant à réduire les coûts, viendra déterminer le moment de l'adoption.

¹ Pour d'excellentes enquêtes, voir Thirtle et Ruttan (1987), et Stoneman (1983, 1986, 1987).

² Pour une enquête des facteurs déterminants de la diffusion, et plus particulièrement sur le rôle de la taille de l'entreprise et de la structure du marché, voir Thirtle et Ruttan (1987).

³ Bien que tout ce qui traite de la diffusion des innovations technologiques porte parfois la diffusion et l'adoption de pair, il existe des différences entre les deux. Les études sur la diffusion traitent de la même tendance temporelle de diffusion à laquelle on peut s'attendre suite à l'adoption d'une nouvelle technologie, notamment la tendance cumulative de l'adoption d'une nouvelle technologie. Les études sur l'adoption abordent les facteurs déterminants de l'adoption d'une technologie par une entreprise à un moment donné. Voir Thirtle et Ruttan (1987), Reinganum (1989), Metcalfe (1990), Davies (1979), Stoneman (1983), et Majumdar et Venkataraman (1993).

⁴ Voir Mansfield (1961a, 1968).

En dernier lieu, les divergences quant à l'adoption de la technologie entre les entreprises sont explicitement modelées selon les modèles Probit (David, 1975, et Davies, 1979), et selon les modèles d'apprentissage bayésiens (Stoneman, 1981; Lindner, Fischer et Pardney, 1979; et Jensen 1982 et 1983). Selon les modèles Probit, une innovation est perçue comme un stimulus pour une entreprise. On présume que chaque entreprise n'adopte une innovation que lorsque le stimulus, représenté par l'innovation elle-même, dépasse un certain seuil critique, ce qui varie d'une entreprise à l'autre. Selon les études empiriques axées sur ces modèles, le seuil critique est souvent fonction de la taille, ainsi que d'autres caractéristiques de l'entreprise⁵. Selon la méthode d'apprentissage bayésienne, on présume que les entreprises s'interrogent sur le potentiel de rentabilité d'une innovation et qu'elles en apprendront plus long sur le sujet de première main ou par le biais d'une source externe. Dans le cadre du travail empirique associé à cette théorie, on suppose que diverses caractéristiques sont liées à la capacité d'apprentissage de l'entreprise.

Dans chacune de ces méthodes, on part du principe que le recours à la technologie varie d'une entreprise à l'autre (Davies, 1979; Lane, 1991; Rogers, 1983; Reinganum, 1989), ce qui se traduit par trois questions quant à la recherche. En premier lieu, quels sont les facteurs qui poussent une entreprise à adopter une technologie en particulier? En deuxième lieu, si une nouvelle technologie est disponible, pourquoi certaines entreprises adoptent-elles une nouvelle technologie ou une innovation plus tôt que d'autres? En troisième lieu, quel est le processus par lequel une nouvelle technologie se propage, ou se diffuse? Les deux premières questions ont trait à l'adoption tandis que la troisième a trait à la diffusion.

Dans le présent document, on se focalise sur la deuxième question⁶—le moment auquel on procédera à l'adoption des technologies de pointe⁷. Il se peut que les technologies de pointe soient perçues comme un bloc d'innovations technologiques et qu'elles partagent, par conséquent, les mêmes propriétés technologiques de base (Dosi, 1982; Colombo et Mosconi, 1995). Leur interdépendance et leur complémentarité auront probablement une incidence importante sur la diffusion (Milgrom et Roberts, 1990). Le document analyse

⁵ On présume qu'une nouvelle technique consistera en coûts fixes plus élevés, mais que ses coûts variables seront inférieurs à ceux de l'ancienne technique par production unitaire. Si l'on s'attend à des rendements d'échelle, à un moment donné, l'adoption de l'innovation ne sera avantageuse que pour les entreprises dépassant une certaine taille. Naturellement, tant l'évolution de la technologie que la croissance de l'entreprise peuvent influencer sur le seuil critique et le nombre d'adopteurs potentiels. Le profil temporel de la diffusion sera déterminé en fonction de la répartition de la taille de l'entreprise, du taux de croissance de chaque entreprise et de l'évolution des coûts du capital et de la main-d'oeuvre.

⁶ Pour une étude canadienne portant sur la première question, c.-à-d. les facteurs déterminants de l'adoption de la technologie, voir Baldwin et Diverty (1995).

⁷ Le terme "technologie de pointe" s'applique à toute une gamme de technologies de la fabrication et des communications, notamment les machines outils à commande numérique, les robots, la conception et ingénierie assistées par ordinateur, les systèmes de fabrication flexibles, la bureautique (ordinateur, postes de travail, terminaux et périphériques, etc.), télécommunications, entre autres. Ces technologies diffèrent quant à leurs caractéristiques et elles sont appliquées à diverses étapes de la fabrication, selon leur usage (par exemple, McFetridge (1992), Milgrom et Roberts (1990), Arcangeli, Dosi, et Moggi (1991), Edquist et Jacobsson (1988)).

l'adoption d'un bloc de technologies qui sont utilisées à différentes étapes du processus de production. Ces technologies ont trait à la conception et à l'ingénierie, à la fabrication et au montage, à l'inspection et aux communications. La catégorie de la conception et de l'ingénierie consiste en une conception assistée par ordinateur (CAO) et/ou d'une ingénierie assistée par ordinateur (IAO), les résultats CAO servent au contrôle des machines utilisées pour la fabrication (CAO/FAO), et la représentation numérique des résultats CAO sert aux activités d'approvisionnement. La catégorie de la fabrication et du montage comporte des cellules de fabrication flexibles (CFF) ou des systèmes de fabrication flexibles (SFF), des machines à commande numérique ou à commande numérique pilotée par ordinateur (CN/CNO), de systèmes d'usinage laser, de bras-transferts, et d'autres robots. La catégorie de l'inspection et des communications consiste en appareils automatiques à capteurs utilisés pour l'inspection et l'essai des matières d'arrivée ou en cours de transformation du matériel ou du produit final, de réseaux locaux pour les données techniques, de réseaux locaux à l'usage de l'usine, de réseaux informatiques interentreprise reliant aux sous-traitants, aux fournisseurs et/ou aux clients, de dispositifs de commande programmables, et d'ordinateurs industriels de commande.

Les faits attestent qu'il y a eu une augmentation importante de l'utilisation de ces technologies. Notamment, Edquist et Jacobson (1988) indiquent qu'au Japon, la part des machines outils à commande numérique (MOCN) du total de l'investissement à ce chapitre est passée de 28,3 % en 1980 à 54,3 % en 1984. Entre 1980 et 1984, la part des MOCN est passée de 27,8 % à 40,1 % aux É.-U., de 30,9 % à 62,4 % au Royaume-Uni, et de 28,6 % à 59,4 % en Suède⁸. Le taux moyen annuel d'augmentation quant au nombre de robots installés dans les pays de l'OCDE a été de 44 % entre 1974 et 1984. En 1984, dans l'industrie de l'ingénierie, le nombre de robots pour 10 000 employés était de 122,6 au Japon, de 70,1 en Suède, de 28,1 en Belgique, de 27,2 en Italie, de 16,2 en Allemagne, de 14,8 aux États-Unis, de 14,7 en France et de 8,5 au Royaume-Uni. Selon Edquist et Jacobson (1988), il y avait 6 600 systèmes CAO installés dans l'industrie de la fabrication aux États-Unis en 1982. En 1985, les systèmes CAO installés aux États-Unis dans l'industrie de la fabrication se chiffraient à 15 000⁹. Entre 1989 et 1993, le recours aux technologies de pointe au Canada, en particulier la CAO, a augmenté considérablement (Baldwin et Sabourin, 1995).

L'objectif ici est d'analyser les facteurs qui influent sur la diffusion de ces technologies de pointe dans le secteur de la fabrication. On se focalise en particulier sur les facteurs déterminants de la période de temps écoulée entre le moment où l'entreprise prend conscience de l'existence d'une technologie donnée et l'adoption de celle-ci, ce qui constitue le retard d'adoption¹⁰. On recourt à des variables explicatives, avancées tant par

⁸ Entre 1980 et 1985, la part de l'automatisation avancée (SFF, CAO, IAO, FAO, robots, etc.) en fait de pourcentage des investissements, passera de 0,6 % à 4,7 % aux États-Unis, de 1,6 % à 6,7 % au Japon, de 0,2 % à 2,6 % en Europe, et de 0,2 % à 3,0 % en Italie (Arcangeli, Dosi, Moggi, 1991).

⁹ Si l'on retrouve, en moyenne, quatre postes de travail par système, le nombre de postes de travail en 1982 était de 26 400, de sorte qu'on peut supposer que le nombre de postes de travail était passé à 60 000 en 1985. Il se peut que ce chiffre ne comprenne pas les unités d'OP, ce qui résulterait en une sous-estimation des stocks de CAO.

¹⁰ La définition donnée de l'expression "retard d'adoption" est semblable à celle de Nabseth et Ray (1974).

la méthode décisionnelle que la méthode de la théorie des jeux, comme facteurs déterminants des variations observées quant au retard d'adoption au niveau de l'établissement. L'analyse est axée sur les rôles que viennent jouer les caractéristiques et les technologies des entreprises, et sur l'environnement industriel dans lequel l'entreprise fonctionne.

On aborde ce sujet de la façon suivante : en premier lieu, on présente les modèles ordonnés Probit et Logit de façon à saisir l'hétérogénéité au niveau de l'entreprise quant aux retards d'adoption. En deuxième lieu, on traite de l'adoption d'une nouvelle technologie au niveau local (établissement individuel) en ayant recours à une étude spéciale. En troisième lieu, on introduit plusieurs nouvelles variables ayant trait aux caractéristiques des entreprises et de la technologie qui se répercutent sur les retards d'adoption. Sont cités, en particulier, les avantages et les coûts reliés à la mise en application des technologies de pointe ayant été perçus par les gestionnaires de l'établissement. En quatrième lieu, on analyse les facteurs déterminants des retards d'adoption en fonction des blocs de technologies de pointe.

Le document est organisé de la façon suivante : les sources des données et l'hétérogénéité du taux d'adoption des technologies de pointe propres aux établissements de fabrication au Canada sont décrites à la section 2. La section 3 présente certains cas de variation au niveau de l'entreprise quant aux retards d'adoption. La section 4 donne une explication conceptuelle de la décision d'une entreprise en matière d'adoption et décrit les facteurs qui interviennent dans les retards d'adoption. La cinquième section présente un cadre empirique quant à la modélisation des variations inter-entreprises des retards d'adoption—les modèles ordonnés Probit et Logit. La section 6 énonce les définitions et les mesures des variables. La section 7 porte sur les résultats empiriques et les discussions. La huitième section contient les conclusions ayant été tirées.

2. Sources des données et recours aux technologies de pointe dans le secteur manufacturier canadien

Les données utilisées dans le présent document sont tirées de deux sources—l'Enquête sur la technologie de la fabrication de 1993 (ETF), qui contient des données sur le recours à la technologie au niveau de l'établissement, et le Recensement canadien des manufactures, qui contient des données sur les matières utilisées et le produit final, la propriété et la diversification de l'entreprise mère. Les réponses de l'ETF sont liées à des données-panel longitudinales remontant jusqu'en 1973, tirées du Recensement des manufactures¹¹. Ce fichier de données combinées fournit des renseignements non seulement sur l'utilisation de la technologie dans un établissement, mais aussi sur ses effectifs, sur les livraisons, sur les salaires et sur la valeur ajoutée lors de la fabrication. De plus, des données sur l'entreprise propriétaire de l'établissement—sa nationalité, ses

¹¹ Sur les 2 531 répondants, 96 % environ sont liés au panel du Recensement des manufactures.

effectifs et sa date de création—sont générées à partir de fichiers spéciaux tenus par la Division des études et de l'analyse micro-économiques de Statistique Canada.

Il ressort de l'ETF canadienne de 1993 que les établissements du secteur de la fabrication utilisent 22 technologies de pointe distinctes. Ces technologies sont regroupées en plusieurs groupes fonctionnels, dans ce cas, à des fins d'analyse—conception et ingénierie, fabrication et montage, inspection et communications, manutention automatisée des matériaux, systèmes d'information de fabrication, et intégration et contrôle. L'enquête, menée par voie postale, était basée sur un échantillon de tous les établissements du secteur manufacturier au Canada. Sur les 2 877 établissements formant l'échantillon, 2 351, soit 88 %, ont répondu¹². L'enquête fournit des renseignements sur la période de temps qui s'est écoulée entre le moment où l'entreprise prend conscience de la technologie et l'adoption éventuelle de la technologie par l'entreprise, ce qui constitue le retard d'adoption. De plus, elle contient des données détaillées sur les caractéristiques de la technologie et des entreprises dans l'échantillon. On s'attache en particulier aux avantages et aux entraves liés à l'adoption de la technologie.

Les technologies individuelles ayant fait l'objet de l'enquête figurent au Tableau 1, par ordre de groupe fonctionnel. Les groupes fonctionnels diffèrent pour ce qui est du degré auquel ils participent directement au processus de production et du montage ou selon qu'ils servent à en effectuer le contrôle via les diagnostics et le contrôle de la qualité. Les technologies émanent de la révolution technologique actuelle qui est liée à l'ordinateur, ou plus précisément à l'utilisation des microprocesseurs. D'une part, la puissance de traitement relativement économique des microprocesseurs a donné naissance à une panoplie de technologies visant à économiser la main-d'œuvre. Ces technologies ont permis le remplacement de la main-d'œuvre coûteuse par des machines efficaces et fiables, commandées par ordinateur. Notamment, les robots se substituent de façon efficace et sécuritaire aux humains pour effectuer les travaux répétitifs comme le soudage par points ou la peinture sur une chaîne de montage d'automobiles. Des systèmes de véhicules à guidage automatique viennent remplacer le personnel de livraison.

Aussi importantes que ces technologies d'économie de la main-d'œuvre puissent être, la nouvelle révolution technologique a aussi eu des effets tout aussi importants sur les tâches effectuées par les travailleurs de production et les gestionnaires. Ces technologies découlent toutes de la révolution de l'information. L'incidence spectaculaire des technologies de l'information a joué à diverses étapes du processus de production. C'est ainsi que la gestion a pu recevoir, traiter et analyser des quantités d'informations sans précédent. Elles ont permis aux concepteurs de s'attaquer à des problèmes qu'ils n'avaient pas le temps d'étudier auparavant, et de raccourcir l'étape de conception des projets. Les technologies d'inspection et de communications, de même que celles de l'intégration et du contrôle, facilitent la transmission rapide de commandes propres au processus de montage, la livraison des pièces à l'assembleur, et le montage de produits spécialisés par un travailleur recevant ses instructions d'un ordinateur quant aux pièces qui sont nécessaires pour un produit en particulier faisant l'objet d'une commande, de même que la

¹² Pour de plus amples renseignements sur cette enquête, voir Baldwin et Sabourin (1995).

nature du montage requis. Au lieu de remplacer les travailleurs par des robots, ces technologies sont venues améliorer les habiletés humaines. Dans un tel environnement, les robots sont relégués aux tâches répétitives, tandis que les technologies informatiques viennent aider les travailleurs à procéder à l'assemblage de produits spécialisés, avec l'aide de commandes transmises par ordinateur.

Il convient de souligner que même si les technologies de pointe à l'étude dans le secteur manufacturier au Canada reposent sur les mêmes bases de connaissances scientifiques et technologiques, le rythme de leur diffusion n'est pas le même dans différents secteurs de production. En phase avec l'importance de ces technologies de pointe dans le cadre de la révolution de l'information, les groupes fonctionnels de l'inspection et des communications enregistrent le taux d'adoption le plus élevé (Tableau 1). En 1993, environ 73 % des livraisons provenaient d'établissement utilisant des technologies afin d'améliorer la qualité de la main-d'oeuvre et appartenant à ce groupe. Dans ce cas-ci, le taux élevé d'adoption est surtout dû à l'utilisation sur les lieux de production d'appareils de contrôle automatisés - de contrôleurs programmables et d'ordinateurs autonomes pour les opérations de contrôle. Le groupe de l'inspection et des communications est suivi par celui de la conception et de l'ingénierie (62,5%), puis celui des systèmes d'information de fabrication (53,3%). Les technologies visant à économiser la main-d'oeuvre au niveau de la fabrication, ce qui est traditionnellement au coeur du processus de production, n'arrivent qu'en quatrième place, soit à 45,8 %¹³. Bien que la révolution axée sur l'informatique soit souvent décrite sous l'angle de son incidence sur la fabrication et le montage, son utilisation, jusqu'à présent, s'est surtout fait sentir dans le secteur des technologies visant à économiser la main-d'oeuvre au niveau de l'inspection et des communications, de même qu'au niveau de la conception et de l'ingénierie.

3. Recours à la technologie et retards d'adoption

Les données présentées dans la section précédente indiquent que le taux d'adoption des technologies de pointe varie selon leur utilisation aux diverses étapes d'un processus de production d'une entreprise. L'adoption de la technologie permet aux établissements d'augmenter leur production et d'en améliorer la qualité. Bien que l'adoption des technologies de pointe soit primordiale pour qu'une entreprise puisse demeurer concurrentielle, tous les adopteurs possibles n'appliquent pas immédiatement les nouvelles technologies.

Une proportion considérable des entreprises mettent moins de douze mois à trois ans à adopter les technologies de pointe (Tableau 2)—la plupart d'entre elles le font sur une période de 1 à 3 ans. À l'exception de la manutention automatisée des matériaux, on

¹³ Ce genre d'écart au niveau de l'adoption au Canada est conforme aux études menées par Colombo et Mosconi (1995). Ils rapportent qu'en juin 1989, le pourcentage des adopteurs dans l'industrie italienne de la métallurgie était évalué à 18 % dans le cas des technologies de la conception et de l'ingénierie et à 4,5 % pour les systèmes de montage de la fabrication.

constate des similitudes frappantes entre les groupes fonctionnels quant à la répartition des entreprises selon la période précédant l'adoption.

Bien qu'on retrouve un peu la même chose quant aux retards d'adoption entre les technologies, les retards d'adoption concernant les entreprises prises individuellement varient considérablement. Par exemple, dans la catégorie de retards d'adoption se situant entre 1 et 3 ans, le taux d'erreurs-types varie de 5,1 et 9,4 pour l'ensemble des groupes de technologies. De plus, au sein de chaque groupe, on constate une grande variabilité d'une catégorie à l'autre de retards d'adoption. Les erreurs-types varient de 0,8 à 6,1 dans le cas des technologies de conception et d'ingénierie; de 2,3 à 8,6 pour la fabrication et le montage et de 1,0 à 4,9 pour les technologies de l'inspection et des communications.

En revanche, on constate une hétérogénéité considérable quant à la synchronisation de l'adoption des technologies de pointe dans le secteur manufacturier au Canada.

Tableau 1. Technologies de pointe du secteur de la fabrication par groupe fonctionnel

Groupe fonctionnel	Technologie	Taux d'adoption (Pourcentage des livraisons)
Conception et ingénierie		62,5
	Conception et ingénierie assistées par ordinateur (CAO/IAO)	60,8
	CAO appliquée au contrôle des machines utilisées dans la fabrication (CAO/FAO)	21,2
	Représentation numérique des données de la CAO	17,8
Fabrication et montage		45,8
	Cellules ou systèmes de fabrication flexibles (CFF/SFF)	20,0
	Machines à commande numérique (NC) et à commande pilotée par ordinateur (CNO)	27,7
	Systèmes d'usinage laser	7,5
	Bras-transferts	20,5
	Autres robots	14,2
Manutention automatisée des matériaux		16,1
	Systèmes de stockage et de récupération automatiques (SSRA)	13,9
	Systèmes de véhicules à guidage automatique (SVGA)	8,7
Inspection et communications		72,9
		31,6
	Appareils automatisés pour l'inspection du produit final	38,7
	Réseau local de données techniques	47,5
	Réseau local à l'usage de l'usine	40,3
	Réseau informatique entre entreprises (RIEE)	33,9
	Dispositifs de commande programmables	57,5
	Ordinateurs industriels de commande	52,7
Systèmes d'information de fabrication		53,3
	Planification des besoins de matières (PBM)	49,7
	Planification des ressources de fabrication (PRF)	36,1
Intégration et contrôle		41,7
	Fabrication intégrée par ordinateur (FIO)	23,9
	Acquisition et contrôle des données (ACD)	35,3
	Systèmes d'intelligence artificielle/experts (IA)	9,0

Tableau 2. Retards d'adoption des technologies de pointe selon le groupe fonctionnel : pondéré selon la valeur des livraisons

Période	Conception et ingénierie	Fabrication et montage	Manutention automatisée des matériaux	Inspection et communications
	(pourcentage des livraisons)			
Moins de 1 an	25,1 (6,1)	24,1 (8,6)	15,5 (7,2)	15,0 (3,2)
1 à 3 ans	45,1 (5,1)	45,0 (6,7)	72,3 (9,4)	45,5 (4,9)
3 à 5 ans	20,1 (4,5)	17,3 (5,6)	5,1 (2,5)	18,9 (4,1)
Plus de 5 ans	3,2 (0,8)	4,9 (2,3)	1,4 (1,1)	3,7 (1,0)
Sans réponse	6,5	8,7	5,7	16,9

Nota : Les chiffres entre parenthèses représentent les erreurs-typés relevées.

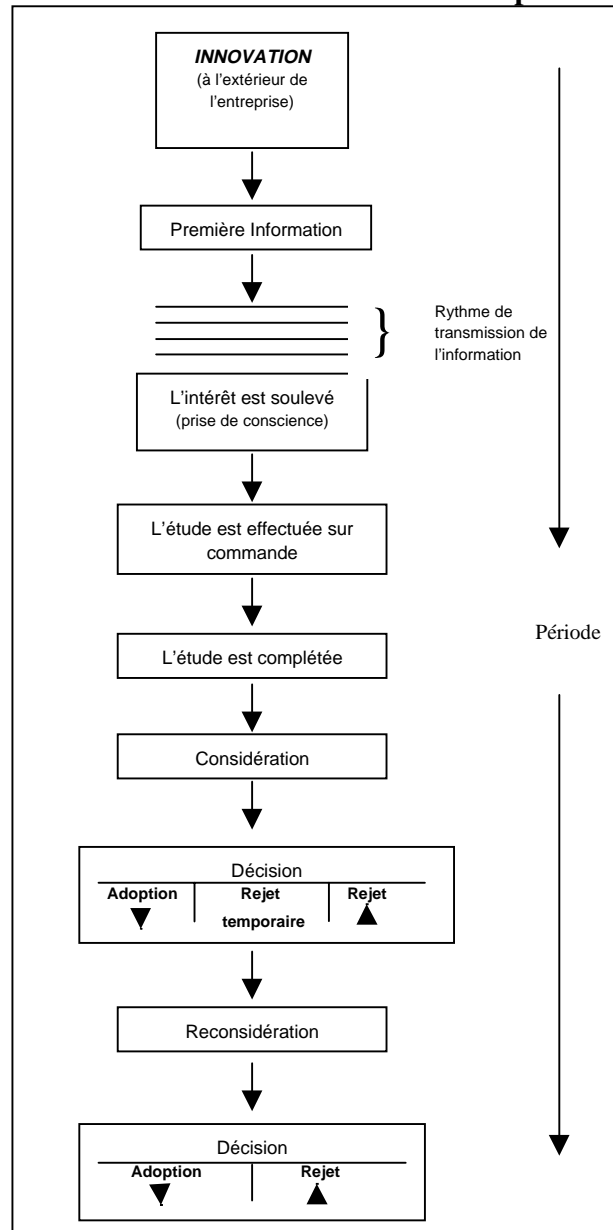
4. Étapes conceptuelles précédant l'adoption d'une technologie par une entreprise

Avant d'être adoptée, une nouvelle technologie passe par plusieurs étapes d'évaluation. Il faut d'abord évaluer les avantages et les coûts d'adoption de la technologie. Une fois que la décision d'adoption est prise, on doit ensuite développer l'expertise; le personnel doit être formé; l'aménagement du nouvel équipement de l'entreprise doit être planifié; et le déroulement des opérations doit être réorganisé. En dernier lieu, l'équipement de la nouvelle technologie doit être commandé et livré. Ces exigences viennent déterminer la durée du retard d'adoption.

En règle générale, l'adoption d'une technologie de pointe se produit lors de l'installation de l'équipement qu'elle nécessite. Par contre, le moment auquel le nouvel équipement est installé représente la dernière étape d'un long processus. En premier lieu, l'information concernant la nouvelle technologie parvient à l'entreprise (Tableau 1). Celle-ci devient de plus en plus sensibilisée aux avantages de cette technologie à mesure que de plus amples renseignements lui arrivent par le biais de différentes sources—les fournisseurs, les foires commerciales, les publications, les entreprises affiliées ou les filiales d'une entreprise mère, les experts-conseils, diverses institutions comme les laboratoires universitaires et gouvernementaux ou les groupes de production, de conception, d'ingénierie, de recherche et d'élaboration de l'entreprise¹⁴. Cette dernière en vient éventuellement à évaluer la valeur de la technologie de façon formelle. En dernier lieu, il se produit un retard supplémentaire entre la prise de décision de commander la technologie et le moment de son installation. La période s'écoulant entre le moment où l'on prend conscience de la technologie et sa mise en application—le retard d'adoption—varie d'une entreprise à l'autre.

¹⁴ Voir Baldwin, Sabourin et Rafiquzzaman (1996) pour l'importance relative des diverses sources.

Figure 1. Le processus interne de diffusion au sein d'une entreprise



Source: Nabseth et Ray (1974, p.7)

Un modèle d'adoption

Les entreprises envisageant l'utilisation d'une nouvelle technologie doivent décider s'il y a lieu de le faire et si oui, quand l'adoption s'effectuera. En général, ce processus comprend la comparaison entre les avantages perçus de l'innovation et la valeur actuelle des coûts qu'elle sous-tend.

Prenons une entreprise qui utilise une technologie existante, que nous appellerons la *technologie en place*¹⁵. À un moment donné, $t = 0$, l'entreprise est aux prises avec l'annonce d'une importante innovation technologique. On appellera cette innovation la *meilleure technologie actuelle*.

Disons que x représente les avantages connus associés à la *technologie en place* et y représente les avantages connus de la *meilleure technologie actuelle*. Le coût d'adoption de la *meilleure technologie actuelle* est c , ce qui comprend les coûts d'acquisition et d'installation, de même que les coûts occasionnés par les perturbations ou les coûts de transition. La rentabilité supplémentaire de la meilleure technologie actuelle est représentée par $(y - x) - c$ ¹⁶. De plus, présumons qu'il n'y aura aucune amélioration quant à la meilleure technologie actuelle jusqu'à une date postérieure t .

La décision d'adoption par l'entreprise de la meilleure technologie actuelle dépendra de la valeur actuelle nette de cette rentabilité différentielle. L'entreprise adoptera la technologie à la date postérieure t si la valeur actuelle nette est positive. L'importance de ce supplément net de profit dépend des attributs de la technologie; par exemple, l'ensemble des avantages et des coûts associés à la technologie.

Nabseth et Ray (1974) font valoir que plusieurs des facteurs qui influencent la décision d'adopter une nouvelle technologie ont aussi une portée sur la durée du retard d'adoption. Bien qu'une plus grande profitabilité soit le principal élément moteur sous-tendant l'adoption et la diffusion d'une technologie, c'est-à-dire la valeur positive nette actuelle, d'autres facteurs peuvent influencer sur la décision d'adoption. On peut dire que les facteurs ayant une incidence sur l'adoption des nouvelles techniques se divisent en trois catégories : (1) les avantages qu'offre la technologie selon la perception des gestionnaires de l'établissement, (2) les caractéristiques des adopteurs potentiels, notamment, la taille des entreprises¹⁷, et (3) l'environnement de l'industrie au sein de laquelle opère l'entreprise. La première catégorie comprend les avantages et les coûts que l'on supporte lors de l'adoption de la nouvelle technologie. Comme ces perceptions peuvent se traduire en divers niveaux d'avantages nets pour différents types d'entreprises, le deuxième ensemble, notamment les caractéristiques de l'entreprise, intervient aussi dans ce cas. En dernier lieu, le troisième ensemble, les caractéristiques de l'industrie, est inclus afin de vérifier si l'environnement compétitif est un autre facteur d'influence. Le document traite de chacun de ces ensembles.

¹⁵ À ce sujet, voir Weiss (1994).

¹⁶ Si un rythme non négatif de changement technologique est présumé, alors $(y - x) \geq 0$,

¹⁷ Voir Zaltman, Duncan, et Holbeck (1973) pour en apprendre davantage sur la séquence des décisions auxquelles les organismes ont recours pour innover et adopter de nouvelles technologies. L'hétérogénéité avancée dans ce cas-ci peut être rattachée à n'importe quelle caractéristique de l'entreprise qui soit reliée à la décision d'adoption. Par exemple, David (1975) avance un argument théorique et un argument empirique en faveur de la taille de l'entreprise. D'autres explications, comme l'accès différentiel à l'information et/ou la volonté de la gestion à prendre des risques, sont aussi courantes (par exemple, Jensen (1982)).

4.1. Avantages de la nouvelle technologie

Les avantages découlant de l'adoption d'une nouvelle technologie sont déterminés par sa rentabilité. Le taux de rendement interne, quant à lui, dépend des avantages directs, des économies de temps, des coûts d'acquisition, des coûts d'évaluation, de la compatibilité avec l'équipement actuel, de la complexité et de la divisibilité de l'essai¹⁸.

Avantages

Il se peut que la nouvelle technique fasse faire des économies en fait de main-d'oeuvre (habileté); elle peut aussi faire économiser au niveau du capital, notamment par le biais d'une utilisation accrue du capital et d'une réduction au niveau de l'inventaire (réduction quant aux exigences en matière d'espace) ou qu'elle résulte en l'augmentation de la production en raison d'une baisse des rejets. Il se peut qu'elle contribue à l'économie de matières premières et de la consommation d'énergie. Elle peut évidemment faire économiser un facteur et simultanément augmenter l'utilisation d'un autre; par exemple, il peut s'agir d'économies quant à la main-d'oeuvre et à l'utilisation du capital (c.-à-d. un capital supplémentaire par production unitaire). La nouvelle technique peut améliorer la productivité¹⁹, et donner ainsi des produits de meilleure qualité.

Vu que la décision d'adoption est fonction des avantages perçus inhérents à la nouvelle technologie et que ceux-ci varient en raison des différentes capacités des entreprises, l'adoption de nouvelles technologies ne se fera pas uniformément d'une technologie à l'autre ou d'une entreprise à l'autre. On suppose que plus il y a d'avantages à retirer de la nouvelle industrie, plus l'entreprise sera portée à l'adopter sans délai.

Plusieurs des avantages découlant de l'adoption de la technologie sont énoncés par les entreprises du secteur manufacturier canadien—*augmentation de la productivité, amélioration de la qualité du produit, réduction du taux de rejet en cours de production* (Baldwin, Sabourin et Rafiquzzaman, 1996). Les répondants de l'enquête énumèrent généralement les avantages liés aux améliorations au niveau de la productivité et de la qualité du produit²⁰.

Comme différentes technologies sont utilisées à diverses étapes du processus de production, leur apport, quant à l'accroissement des avantages, diffère d'une technologie à

¹⁸ Voir Rogers (1983) pour les détails.

¹⁹ L'adoption des technologies de pointe vient réduire les coûts, ce qui améliore la productivité et augmente la rentabilité. Dans un sens plus large, on pourrait classer la mise en oeuvre de la nouvelle technologie sur les plans du travail-, des matières-, du capital-, ou de l'économie d'énergie. Il s'agit là des effets physiques et leurs effets correcteurs économiques dépendent de divers autres facteurs. Entre autres, certains sont propres aux caractéristiques technologiques de l'innovation, comme dans le cas des aptitudes exigées, les effets sur l'effort déployé par la gestion et le contrôle qu'exerce cette dernière, et le besoin général d'apprentissage.

²⁰ Il y a plusieurs façons d'améliorer la productivité : notamment, par la réduction des besoins de main-d'oeuvre, la réduction des matières entrant dans la production, la réduction de la consommation d'énergie, la réduction des dépenses en capital. Voir Baldwin, Sabourin et Rafiquzzaman (1996) pour les détails.

l'autre. Baldwin, Sabourin et Rafiquzzaman (1996) indiquent que, dans le cas de l'ETF, pour n'importe quelle technologie, au moins 55 %, 47 % et 18 % des livraisons des utilisateurs de la technologie proviennent des établissements ayant déclaré respectivement *une augmentation de la productivité, une amélioration de la qualité du produit, et des réductions du taux de rejet en cours de production*. Ces réponses variaient selon le groupe de technologies. Dans le cas des *améliorations de la productivité*, environ 70 %, 76 % et 55 % des livraisons provenaient des établissements indiquant une amélioration de la productivité et qui utilisaient soit les technologies de la conception et de l'ingénierie, soit celles de la fabrication et du montage, ou celles de l'inspection et des communications. *L'amélioration de la qualité du produit* figure au premier rang pour ce qui est de la fabrication et du montage, puis vient l'amélioration due à l'inspection et aux communications, ensuite à la conception et à l'ingénierie. Environ 65 %, 51 % et 47 % des livraisons provenaient des établissements utilisant les technologies de la fabrication et du montage, de l'inspection et des communications et de la conception et de l'ingénierie, et établissements ayant indiqué que la qualité du produit représentait un avantage²¹.

Coûts

La mise en oeuvre d'une nouvelle technologie engendre divers coûts. Ces derniers consistent en dépenses engagées pour l'acquisition d'équipement, de dépenses au chapitre de l'éducation et de la formation, de dépenses d'entretien, outre le temps et les coûts qu'il faut consacrer à la mise au point des logiciels. Dans la mesure où ces coûts pèsent de façon importante sur la décision d'adoption de l'entreprise, il est peu probable que celle-ci se hâte d'adopter la nouvelle technologie.

Selon Baldwin, Sabourin et Rafiquzzaman (1996), les gestionnaires d'établissements estiment que les *frais généraux* représentent le facteur le plus important les ayant empêchés d'acquérir des technologies de pointe²². Les établissements ainsi touchés comptaient pour une part se situant entre 50 % et 58% des livraisons, sans égard à la catégorie du groupe fonctionnel. Il y avait, par contre, des différences quant à la prépondérance de ce facteur en travers d'un groupe fonctionnel à l'autre. Les *frais généraux* avaient à peu près la même incidence sur la conception et l'ingénierie (50 %) que sur l'inspection et les communications (52 %). L'incidence était plus grande dans le cas de la fabrication et l'assemblage (57 %)²³.

Proximité géographique des fournisseurs

La décision d'acquérir une nouvelle technologie est fonction de la disponibilité, du coût, de la qualité et de la circulation de l'information sur les avantages potentiels de cette

²¹ Voir Baldwin, Sabourin et Rafiquzzaman (1996) pour l'importance relative des autres avantages d'une technologie à l'autre.

²² Les *frais généraux* comprennent le coût de l'acquisition des technologies, le coût de la mise au point des logiciels, le coût d'éducation et de formation, et la hausse des dépenses d'entretien.

²³ Voir Baldwin, Sabourin et Rafiquzzaman (1996) pour l'importance relative des autres coûts liés à l'adoption de la technologie.

technologie. Ces facteurs varient considérablement selon le fournisseur. Il se peut, plus particulièrement, qu'il soit plus coûteux d'évaluer la technologie provenant de producteurs étrangers de technologies que celle de producteurs locaux du fait qu'il est plus coûteux d'obtenir de l'information et de la traiter lorsqu'elle est transmise sur de grandes distances. Les établissements canadiens adoptent des technologies conçues au Canada, aux États-Unis, en Europe et en Extrême-Orient. On présume que plus la source de la nouvelle technologie sera éloignée, plus cela allongera le retard d'adoption.

4.2. Caractéristiques de l'entreprise

Caractéristiques de l'entreprise liées aux connaissances et à l'expérience

On suppose que la décision d'adopter une nouvelle technologie dépend non seulement de l'importance des coûts et des avantages perçus en relation avec la technologie, mais aussi des caractéristiques économiques et technologiques de l'entreprise reliées à ses capacités d'évaluer et d'adopter la technologie—des caractéristiques telles l'importance de l'investissement, la taille, la nationalité, la date de fondation, le degré de diversification, de même que le niveau d'utilisation de la technologie. Bien que la perception de l'entreprise quant aux avantages et aux coûts ait une incidence sur la décision d'adoption, ses capacités viendront déterminer la mesure dans laquelle elle peut effectuer une mise en oeuvre rentable des nouvelles technologies. Ces capacités se développent lentement avec le temps. Bien qu'elles ne soient pas directement mesurables, dans ce cas-ci, ces capacités sont reliées à certaines caractéristiques observables. Les entreprises plus compétentes prennent de l'expansion aux dépens des autres et deviennent plus grandes, durent plus longtemps, elles sont plus vieilles, et peuvent absorber les technologies les plus avancées. Ce document considère les caractéristiques suivantes.

Importance des investissements

L'importance des investissements d'une entreprise représente un facteur déterminant majeur quant au retard d'adoption puisqu'elle est corrélée aux compétences sous-jacentes. Les entreprises diffèrent considérablement pour ce qui est de maîtriser les technologies de pointe. Les entreprises qui ont investi fortement dans les technologies de pointe sont celles possédant des compétences particulières qui viendront probablement faciliter aussi une adoption dès l'avènement des technologies.

Capacités technologiques

Une entreprise adoptera d'autant plus tôt une nouvelle technologie qu'elle possède un certain bagage de connaissances accumulées. Les capacités d'une entreprise sont fonction de son bagage de connaissances et de ses capacités techniques et gestionnelles lesquelles sont améliorées par l'utilisation des technologies précédentes. Ces facteurs d'apprentissage sont censés avoir un effet positif sur la probabilité d'adoption et sur le retard d'adoption.

Fréquence de l'utilisation des technologies

Une troisième caractéristique qui comprend tant les connaissances que les compétences est la fréquence d'utilisation des technologies au sein d'un établissement. Les établissements qui utilisent une gamme étendue de technologies de pointe ont maîtrisé un plus vaste ensemble d'habiletés que ceux qui n'utilisent qu'une ou deux technologies. On suppose que ces établissements accusent des retards d'adoption plus courts.

Nationalité de l'entreprise

On allègue que la nationalité d'un établissement par une entreprise multinationale s'accompagne plus volontiers d'un investissement net plus élevé et d'une diffusion plus rapide des technologies (Cohen et Levin, 1989). Les multinationales véhiculent d'un pays à l'autre les connaissances scientifiques difficiles à transmettre (Caves, 1982). Cela donne à penser qu'il se peut que les entreprises étrangères sont peut-être les premières à adopter les nouvelles technologies. D'autre part, il se peut que les entreprises canadiennes de plus petite taille aient à faire preuve d'une plus grande flexibilité afin de survivre. Dans ce cas, il est possible que les entreprises canadiennes soient les premières à adopter les technologies. Par conséquent, il est difficile de dire a priori quel sera le lien entre la propriété et l'adoption.

Taille de l'entreprise

La documentation théorique et empirique sur l'adoption de la technologie donne à entendre que la taille d'une entreprise vient jouer un rôle important quant à la décision d'adopter de nouvelles technologies (Davies, 1979). Selon le modèle suggéré par Davies, l'adoption se produit lorsqu'un stimulus dépasse la valeur de seuil d'une entreprise. Des variations au niveau de l'adoption se produisent parce que les stimulus et les seuils des entreprises diffèrent. On présume souvent que la taille est liée soit aux stimulus ou aux seuils (Stoneman, 1986, Reinganum, 1989), car elle se substitue à certains facteurs comme l'aversion du risque, la participation dans des activités de la recherche et de développement, ou les économies d'échelle. De plus, on soutient généralement que les grandes entreprises sont dans une meilleure position que les petites entreprises pour diversifier les risques d'expérimentation avec la nouvelle technologie.

D'autre part, selon la thèse schumpetérienne, la taille absolue d'une grande entreprise est un préalable pour entreprendre des activités de recherche et de développement et, par conséquent, pour l'adoption ultérieure d'innovations. D'autres auteurs font valoir que la taille relative, et non absolue, d'une entreprise, par exemple, la part du marché, est un facteur déterminant de l'adoption d'innovations et de technologies (Ravenscraft, 1983). Les études empiriques comportent des résultats mixtes quant au lien entre l'adoption de la technologie et la taille de l'entreprise. Des études antérieures effectuées par Mansfield (1968), Romeo (1975), et Nasbeth et Ray (1974) constatent que les plus grandes firmes ont tendance à adopter les innovations plus tôt que les plus petites entreprises. D'autres analyses statistiques rapportent des résultats mixtes. L'étude de Oster (1982) sur la

diffusion de l'appareil de chauffage à air de base et les produits moulés par coulée continue propres à l'industrie métallurgique aux É.-U., qui est relativement concentrée, indiquent que la taille de l'entreprise a un effet négatif sur les probabilités d'adoption. Levin, Levin et Meisel (1987) jugent que la concentration a des effets négatifs sur décisions des commerces d'épicerie au détail pour ce qui est d'adopter des systèmes de lecteurs optiques, mais des effets positifs quant à la part du marché—leur étude n'a pas pour objet d'effectuer une mise à l'essai de l'incidence de la taille de l'entreprise. Par contraste, Hannan et McDowell (1984) révèlent un appui prononcé des modèles d'innovation Schumpetériens. Ils concluent que le taux de probabilité d'adoption des guichets automatiques augmente avec la taille absolue de l'entreprise et la concentration du marché. Plus récemment, Saloner et Shepard (1995) viennent confirmer les résultats énoncés par Hannan-McDowell après avoir inclu tant la taille du réseau que le nombre de déposants aux guichets automatiques. De plus, Rose et Joskow (1990) constatent que les grandes entreprises sont, de manière significative, plus aptes à être parmi les premiers adopteurs d'innovations technologiques dans l'industrie de production d'électricité, bien que cette relation fonctionnelle ne soit pas linéaire. Compte tenu de ces constatations, l'incidence de la taille de l'entreprise sur le retard d'adoption demeure a priori incertain.

Diversification

Le niveau de diversification de l'entreprise mère d'un établissement peut jouer pour réduire le retard d'adoption. Si une entreprise a une production dans plus d'une branche d'industrie, les connaissances sur l'adoption de nouvelles technologies d'un établissement peuvent être transmises à d'autres établissements.

Âge

L'âge d'une entreprise représente une autre caractéristique qui peut avoir un lien avec l'expérience. D'une part, les entreprises plus anciennes auront généralement accumulé une réserve de connaissances qui leur permettra de mieux évaluer les nouvelles technologies que les nouvelles entreprises. D'autre part, il se peut que les plus récents établissements soient plus en mesure d'adopter la technologie de pointe que les plus anciens dont les fonds propres sont désuets et moins compatibles avec les nouvelles technologies à adopter. Il est difficile de dire a priori quelle sera l'incidence de l'âge sur le retard d'adoption.

4.3. Environnement de la structure de l'industrie/du marché

On présume que les pressions concurrentielles auront un effet tant sur le taux d'adoption des nouvelles technologies que sur le retard d'adoption. L'adoption de nouvelles technologies est vitale pour une entreprise si elle veut demeurer concurrentielle (Clark, 1987). Dans une économie mondiale, les entreprises doivent faire face à des pressions constantes de la part de leurs concurrents, tant au niveau national qu'international, les forçant à réduire leurs coûts afin de demeurer compétitives. Les entreprises qui peuvent réduire leurs coûts de production en adoptant des technologies au moment voulu peuvent

offrir des prix plus bas et ainsi garder ou augmenter leur part de marché. Qu'il s'agisse de la théorie des jeux ou de celle sur l'efficacité X, tous les documents à ce sujet soulignent l'importance d'un environnement concurrentiel. Selon la théorie des jeux, les forces concurrentielles viennent exercer des pressions sur les entreprises, les forçant à prendre vite une décision afin de garder leur part de marché ou d'éliminer leurs concurrents²⁴. Les études empiriques portant sur les corrélats de l'efficacité industrielle font toujours ressentir que les industries faisant preuve d'une plus grande ouverture quant à la concurrence sont plus efficaces²⁵.

On présume souvent que la concurrence est liée à la structure du marché. L'incidence de la structure du marché sur la décision d'adopter des technologies a fait l'objet d'une multitude d'études. Toutefois, tant les études théoriques qu'empiriques se soldent par des résultats mixtes quant au lien entre l'adoption de technologies et le degré de compétitivité. Mansfield (1968) et Romeo (1977) font état de certains faits venant étayer l'hypothèse selon laquelle plus le marché est marqué au coin de la concurrence, plus grand est le taux de diffusion. D'autre part, l'analyse théorique de Reinganum (1981b) démontre que, dans certaines conditions, l'augmentation du nombre d'entreprises sur le marché (c.-à-d. une plus grande concurrence) retarde l'adoption d'une innovation quant au processus intégrant le capital qui fera diminuer les coûts. La pression concurrentielle provenant des entreprises concurrentes vient aussi influencer la décision d'adoption. Dans le cas des guichets automatiques, Hannan et McDowell (1987) estiment que l'adoption d'innovations observée chez les concurrents fait que les adopteurs potentiels seront plus portés, à leur tour, de choisir d'adopter l'innovation en question. D'autre part, Majumder et Venkataraman (1993) constatent que l'adoption d'une nouvelle technologie, comme la commutation électronique, est positivement liée de façon non significative aux pressions auxquelles une entreprise doit faire face. Dans le cadre de son étude sur l'adoption de la production flexible au sein de l'industrie mécanique aux É.-U., Taymaz (1991) rapporte qu'un niveau de concurrence élevé mène à des taux d'adoption plus élevés, même si le lien était non significatif du point de vue de la statistique ou peu significatif, selon le modèle sélectionné. Weiss (1994) constate certains faits statistiques non significatifs selon lesquels la concurrence semble diminuer la tendance à suspendre l'adoption de la "technologie de montage en surface". Plus récemment, dans le cas des systèmes de fabrication flexibles et des technologies CAO/FAO, Colombo et Mosconi (1995) ont trouvé un lien statistique non significatif entre la pression concurrentielle et l'adoption de la technologie.

5. La structure empirique

L'EFT mesure la période moyenne s'écoulant entre le moment où une entreprise prend conscience des nouvelles technologies et la mise en oeuvre éventuelle de celles-ci. Les catégories de réponses utilisées dans le cadre de cette enquête sont les suivantes : "moins

²⁴ Dans un contexte de dirigeant/dirigé, même si les entreprises dirigées ne produisent pas, leur capacité de produire à des niveaux de coût progressivement plus bas viendra exercer une pression concurrentielle sur l'entreprise dirigeante (Mookherjee et Ray, 1991).

²⁵ Voir Caves (1992).

de 1 an”, “1 à 3 ans”, “3 à 5 ans” et “plus de 5 ans”²⁶. Si les réponses sont codées 0, 1, 2 ou 3, elles peuvent être analysées selon les modèles ordonnés Probit et Logit (Greene, 1997; McKelvey et Zavoina, 1975; Cramer, 1991; et Maddala, 1983). Une fonction linéaire d'un vecteur de variables explicatives vient déterminer la réponse de chaque observation selon la formule suivante :

$$y^* = \beta' \mathbf{x} + \varepsilon, \quad (1)$$

où β représente le vecteur de paramètres inconnus, \mathbf{x} représente le vecteur des variables explicatives, et ε représente un vecteur des termes d'écart. La fonction linéaire y^* est non observable. Ce qui est observable est ce qui suit :

$$\begin{aligned} y &= 0 \quad \text{si } y^* \leq 0, \\ &= 1 \quad \text{si } 0 < y^* \leq \mu_1, \\ &= 2 \quad \text{si } \mu_1 < y^* \leq \mu_2, \\ &= 3 \quad \text{si } \mu_2 \leq y^*, \end{aligned} \quad (2)$$

où les μ représentent des paramètres inconnus que l'on évalue avec β .

Si β est positif, la probabilité est que $y = 0$ sera en décroissance pour les plus grandes valeurs de \mathbf{x} . Cela semble indiquer que la probabilité d'adoption d'une technologie en moins d'un an des entreprises est à la baisse. Autrement dit, le retard d'adoption augmente²⁷.

Les modèles de la plupart des études sur l'adoption sous-tendent des variables dichotomiques dépendantes—l'adoption contre la non-adoption des technologies. Les probabilités du résultat de telles variables, conditionnelles ou explicatives, sont modelées d'après l'analyse Probit et Logit. Dans le cadre de cette analyse, bien que les mesures du retard d'adoption soient qualitatives, elles ne sont pas dichotomiques. Lorsque des variables dépendantes sont polytomiques et ordonnées, et qu'elles sont décomposées en catégories dichotomiques, des renseignements précieux inhérents à l'ensemble de données sont perdus. Il est impossible pour les simples modèles Probit et Logit de saisir les réponses de telles catégories multiples ordonnées incompatibles. Les modèles ordonnés

²⁶ En raison du nombre infime de réponses dans la catégorie “plus de 10 ans”, cette catégorie a été incluse dans la catégorie “de 5 à 10 ans”.

²⁷ En présumant que ε soit normalement distribué, lorsque β (positif) et les μ soient maintenus, une augmentation de l'un des X vient faire basculer la distribution du terme d'écart, ε étant à la droite. Il en résulte que la probabilité $y = 0$ est en décroissance et $y = 3$ est à la hausse. Par contre, il est impossible de déterminer, a priori, que $y = 1$ et $y = 2$ est à la hausse ou à la baisse. Un examen de l'effet d'une augmentation quant à la variable explicative sur les probabilités que $y = 1$ et $y = 2$ exige l'analyse de l'effet marginal ou de la quasi-élasticité de cette variable.

Logit et Probit, par contre, permettent de prédire les probabilités de n'importe quel nombre de réponses ordonnées s'excluant mutuellement²⁸.

6. Définitions des variables explicatives

6.1. Avantages de la nouvelle technologie

Avantages

Les répondants de l'EFT ont cerné plusieurs avantages liés à l'adoption de technologies de pointe, soit *l'augmentation de la productivité, l'amélioration de la qualité du produit, la réduction du temps de montage, l'adaptabilité accrue du produit, l'amélioration des conditions de travail, et la réduction des stocks*²⁹. Si un avantage en particulier est identifié par une entreprise comme étant important, on lui attribue un code 1; autrement, il s'agit d'un code 0. Un indice composé (BENEFIT) a été créé pour représenter la somme des réponses dans ces catégories. La variable BENEFIT assume des valeurs discrètes allant de 0 à 6.

Coûts

Les répondants ont aussi identifié les types de coûts qui pourraient entraver ou retarder l'adoption des technologies de pointe. Ceux-ci comprennent les coûts généraux et spécifiques, tels *les coûts d'acquisition des technologies, les coûts de la mise au point des logiciels, les coûts d'éducation et de formation, et la hausse des dépenses d'entretien*. Les réponses de l'entreprise à ces catégories ont été regroupées sous une nouvelle variable, *frais généraux* (COST)³⁰, qui prend la valeur 1 si l'entreprise se rend compte que *n'importe quel* des éléments de la catégorie des frais vient entraver à l'adoption des nouvelles technologies, et une valeur 0 si ce n'est pas le cas.

Proximité géographique des fournisseurs

Les variables portant sur la proximité géographique sont générées à partir de l'information sur la principale source régionale des technologies de pointe des répondants. Lorsque les sources sont situées respectivement au Canada, aux États-Unis, en Europe, dans les pays côtiers du Pacifique ou dans d'autres régions, les variables sur la proximité géographique sont : GEO-CAN, GEO-US, GEO-EURO, GEO-PRIM, et GEO-OTH. Celles-ci sont des

²⁸ Voir Maddala (1983), et Greene (1997).

²⁹ D'autres avantages ont aussi été identifiés par les répondants. Ils n'ont pas été inclus, soit parce qu'ils étaient relativement moins importants ou qu'ils étaient mutuellement corrélés aux avantages énoncés dans le présent document.

³⁰ On a procédé à une analyse des composantes principales afin de cerner l'importance de tous les types de coût. Les *frais généraux* sont venus expliquer la plus grande part de l'écart. De plus, tous les autres coûts spécifiques ont été corrélés aux *frais généraux*.

variables binaires qui prennent une valeur 1 lorsque la source principale est dans l'une de ces régions, ou 0 lorsque ce n'est pas le cas.

6.2. Caractéristiques de l'entreprise

Âge : Deux variables fictives sont utilisées pour saisir les effets de l'âge—une pour les établissements fondés dans les années 1970 (AGE1), et la deuxième pour les établissements fondés dans les années 1980 (AGE2).

Importance des investissements

Celle-ci est mesurée par la part du total des investissements consacrée à l'équipement et aux logiciels des technologies de pointe (INVESTMENT). Cette variable est définie au niveau du groupe fonctionnel - par exemple, conception et ingénierie, fabrication et montage.

Taille de l'entreprise

Afin de saisir l'incidence de la taille d'une entreprise, on utilise les mesures absolues et relatives. La taille de l'établissement représente les effets de la taille absolue et elle est mesurée en fonction du nombre de travailleurs de production et de personnel auxiliaire embauchés par l'établissement en 1993. Trois variables binaires de tranches de taille sont précisées - les établissements comptant moins de 100 employés (PLANTSIZE1), ceux comptant entre 100 et 500 employés (PLANTSIZE2), et ceux comptant plus de 500 employés (PLANTSIZE3). Afin de saisir les effets relatifs de la taille, on fait intervenir la part de marché de l'entreprise à compter de 1993 (SHARE-93).

Diversification

Le niveau de diversification de l'entreprise-mère d'une entreprise est mesuré par le nombre d'industries au niveau de quatre chiffres dans lequel l'entreprise-mère de l'établissement possède des installations de production. Quatre variables fictives sont utilisées. Il s'agit d'entreprises ayant des établissements dans des industries à un (DIVERSE1), deux (DIVERSE2), trois (DIVERSE3), et quatre caractères numériques ou plus (DIVERSE4).

Nationalité de l'entreprise

Pour saisir l'incidence de la nationalité, une variable binaire (CANADIAN-OWNER) est incluse, qui équivaut à 1 si l'établissement de fabrication est sous contrôle canadien, et 0 si ce n'est pas le cas.

Capacités technologiques

Les capacités technologiques d'une entreprise sont mesurées dans ce cas par le biais d'une auto-évaluation de la technologie de l'entreprise par rapport à ses plus importants

concurrents. Cette mesure saisit les capacités technologiques relatives de l'entreprises à partir de l'expérience cumulative d'apprentissage de celle-ci. Vu que les concurrents des entreprises canadiennes se trouvent tant au Canada qu'à l'étranger, les capacités technologiques de l'entreprise sont mesurées tant en fonction des concurrents locaux qu'étrangers.

Les capacités technologiques ont été évaluées par rapport aux concurrents se trouvant au Canada et à l'étranger sur une échelle en cinq points : 1 (beaucoup moins avancées), 2 (moins avancées), 3 (à peu près au même niveau), 4 (plus avancées) et 5 (beaucoup plus avancées). CAPABILITY-D prend la valeur de 1 si la technologie qu'utilise l'entreprise est aussi bonne ou meilleure que celle de ses concurrents canadiens, et 0 lorsque ce n'est pas le cas³¹. CAPABILITY-F prend la valeur de 1 si la technologie actuelle de l'entreprise est aussi bonne ou meilleure que celle de ses concurrents étrangers, et 0 dans le cas contraire.

Fréquence d'utilisation des technologies

L'intensité d'adoption des différentes technologies est mesurée par une variable qui représente l'ampleur de l'utilisation des technologies à partir d'une étape en particulier de la production. Les entreprises indiquaient si elles utilisaient l'une ou l'autre des 22 technologies de pointe (Tableau 1). Ces technologies étaient divisées en six groupes, selon leur utilisation aux différentes étapes de la production. Trois des 22 technologies appartiennent au groupe de la conception et de l'ingénierie, cinq appartiennent au groupe de la fabrication et du montage, et sept au groupe de l'inspection et des communications. L'intensité d'adoption (ADOPT-INTENSITY) saisit le degré auquel l'entreprise utilise les technologies au sein d'un groupe donné. Si un établissement utilise une technologie de pointe, la variable binaire prend une valeur de 1, et de 0 si ce n'est pas le cas. Il en résulte que la variable ADOPT-INTENSITY prend des valeurs discrètes allant respectivement de 0 à 3,0, de 0 à 5 et de 0 à 7, pour les groupes de la conception et de l'ingénierie, de la fabrication et du montage, et de l'inspection et des communications.

6.3. Environnement de la structure de l'industrie/du marché

En dernier lieu, la pression concurrentielle sur l'entreprise est mesurée par le nombre d'entreprises étant directement en concurrence avec cette dernière sur le marché canadien. Les entreprises ont indiqué si elles avaient de 1 à 5 concurrents, de 6 à 20 concurrents, plus de 20 concurrents, ou aucune concurrence. Quatre variables fictives sont utilisées afin de suivre les effets de la pression concurrentielle.

Celles-ci sont, pour les entreprises ayant de 1 à 5 concurrents (N-COMP1), de 6 à 20 concurrents (N-COMP2), plus de 20 concurrents (N-COMP3), et aucun concurrent (N-COMP4).

³¹ La technologie qu'utilise une entreprise est aussi bonne ou meilleure que celle de ses concurrents si son pointage était de 3, 4 ou 5.

7. Résultats

Les paramètres d'estimation du modèle ordonné Probit (1) pour chacun des trois groupes de technologies de pointe figurent au Tableau 3³². Lorsqu'on effectue la régression, les catégories ayant été exclues sont : les entreprises fondées avant 1980, celles qui étaient sous contrôle étranger, qui n'avaient aucun concurrent, qui étaient diversifiées sur le calque des industries CTI à quatre caractères numériques, et qui avaient obtenu leurs technologies d'«autres» régions géographiques. Comme le démontrent les variables du khi-carré, l'hypothèse «nulle» selon laquelle les variables explicatives sont également non significatives est rejetée pour chaque groupe technologique.

Les coefficients BENEFIT sont toujours significatifs et les coefficients COST sont significatifs dans le cas de deux des trois groupes fonctionnels. Cela vient confirmer que les coûts et les avantages sont des facteurs déterminants quant au retard d'adoption. Le coefficient positif du COST démontre qu'une augmentation des coûts vient diminuer la probabilité d'une adoption précoce et, par conséquent, vient augmenter le retard d'adoption. Le coefficient négatif de BENEFIT démontre l'effet opposé. Des études antérieures (Lane, 1991; Rose et Joskow, 1990) ont eu recours à des substituts comme la taille de l'entreprise pour les avantages découlant de l'acquisition de technologies. Cette étude indique que les évaluations directes par les participants de l'industrie expliquent pour une très grande part la décision relative à l'investissement.

Les effets des variables portant sur la proximité géographique ne sont pas les mêmes. Les coefficients reliés à la variable GEO-CAN sont négatifs pour toutes les technologies et significatifs pour les technologies de l'inspection et des communications. Cela veut dire que, lorsque le Canada représente une source de technologies de pointe, la probabilité d'adoption précoce est plus grande. Le coefficient GEO-US est positif et significatif dans le cas des technologies de fabrication et de montage. La probabilité d'adoption précoce des technologies de fabrication et de montage est moins grande lorsque les É.-U. sont la source des technologies. Les entreprises ont tendance à adopter tous les types de technologies de pointe assez tard si les pays côtiers du Pacifique figurent comme coefficient positif de la variable GEO-PRIM. Ce facteur est significatif dans le cas des technologies de l'inspection et des communications.

En général, le coefficient sur la taille de l'entreprise est négatif, mais non significatif du point de vue statistique³³. Le coefficient négatif PLANTSIZE2 indique que la probabilité d'adoption précoce augmente avec la taille de l'entreprise. Par contre, l'effet positif de la taille est généralement réduit dans le cas des entreprises comptant plus de 500 employés.

³² Comme il n'existe aucune différence au niveau des estimations paramétriques d'estimation des modèles ordonnés Probit et Logit, les résultats du modèle ordonné Probit sont ici présentés.

³³ Le fait d'omettre les variables ayant trait à l'avantage, au coût et aux capacités ne rend pas significatives, pour autant, les variables sur la taille.

En ce qui a trait à la variable sur la taille de l'entreprise, la part de marché (SHARE-93) affiche un coefficient négatif, bien qu'il soit non significatif, fournissant ainsi une faible occurrence d'adoption précoce. Au fur et à mesure que l'entreprise prend de l'expansion, le retard d'adoption diminue.

Comme prévu, les deux variables (CAPABILITY-D et CAPABILITY-F) qui saisissent les capacités technologiques de toute part, jouent un rôle important pour ce qui est de déterminer le retard d'adoption. Les coefficients de CAPABILITY-D et de CAPABILITY-F sont négatifs et généralement significatifs pour toutes les technologies. L'augmentation des capacités technologiques d'une entreprise, tant au niveau des concurrents locaux qu'étrangers, vient accélérer l'adoption et, par conséquent, réduire le retard d'adoption.

L'importance des investissements d'une entreprise (INVESTMENT) a un effet négatif important sur le retard d'adoption dans le temps sur le plan des technologies de l'inspection et des communications, ainsi que de la fabrication et du montage. Par contre, cela n'a pas tendance à réduire le retard d'adoption dans le cas des technologies de conception et d'ingénierie.

Le coefficient négatif et significatif AGE2 indique que les établissements fondés dans les années 1980 accusent un retard d'adoption moindre que ceux fondés au cours des années 1970,

On reconnaît parfois que la propriété d'un établissement par une entreprise multinationale donne lieu à la fois à un investissement net plus élevé et à une diffusion plus rapide de la technologie (Cohen and Levin, 1989). Les résultats ne viennent pas confirmer cette hypothèse. Le coefficient négatif et très significatif de CANADIAN-OWNER des technologies de l'inspection et des communications, ainsi que de la conception et de l'ingénierie, démontre que les entreprises sous contrôle canadien ont tendance à adopter ces technologies plus tôt que leurs homologues étrangers. On constate un résultat semblable dans le cas des technologies de la fabrication et du montage, bien que l'effet ne soit pas significatif du point de vue statistique.

La diversification vient augmenter de façon très sensible la probabilité d'une adoption précoce pour les technologies de l'inspection et des communications, ainsi que la conception et de l'ingénierie, vu que le coefficient pour les entreprises au sein d'une branche d'industrie est considérablement plus petit que celui des entreprises ayant des établissements dans des branches d'industries à quatre caractères numériques ou plus. Il en va tout autrement dans le cas des technologies de la fabrication et du montage. Le coefficient positif de toutes les variables de diversification laisse supposer que l'effet de cette dernière n'est pas important.

L'occurrence de l'utilisation de la technologie (ADOPT-INTENSITY) vient raccourcir les retards d'adoption, bien que les effets ne soient pas significatifs du point de vue statistique.

En dernier lieu, le niveau de concurrence au sein de l'industrie de la firme "adoptante" fait en sorte que la probabilité que le processus de décision d'adoption soit retardé d'une technologie à l'autre augmente. Les coefficients N-COMP1, N-COMP2 et N-COMP3 sont positifs. Ils sont grandement significatifs dans le cas des technologies de l'inspection et des communications, ainsi que de la conception et de l'ingénierie; et non significatifs pour les technologies de la fabrication et du montage. Bien que les coefficients de ces trois variables soient positifs, ils ne sont pas généralement très différents les uns des autres. Cela veut donc dire qu'il importe qu'existe une certaine concurrence, mais qu'il n'y a aucun rapport entre le retard d'adoption et le nombre de concurrents lorsque ce nombre a une valeur positive.

De plus amples résultats : les effets marginaux

Les estimations paramétriques du modèle ordonné Probit (Tableau 3) ne donnent que les effets des modifications aux variables explicatives dans le cas de deux probabilités maximales. Ils fournissent une orientation quant aux effets des variables explicatives sur la probabilité d'adoption dans moins d'une année et sur la probabilité d'adoption au-delà de cinq ans. Cependant, ils ne peuvent pas fournir une orientation quant aux effets des variables explicatives sur la probabilité d'adoption de 1 à 3 ans et de 3 à 5 ans. Afin d'évaluer l'orientation et l'ampleur de ces changements, l'analyse des effets marginaux ou des quasi-élasticités s'impose (Cramer, 1991).

Les tableaux 4, 5 et 6 transposent les estimations paramétriques de l'équation (1) des variations en pourcentage quant à la probabilité d'adoption des technologies de pointe pour les variations par unité pour chacune des variables explicatives. Ils traduisent les quasi-élasticités³⁴. Ils mesurent l'ampleur et l'orientation quant au retard d'adoption en fonction des variations de chaque variable explicative.

L'examen de quasi-élasticité vient confirmer les constatations antérieures. Par exemple, la quasi-élasticité COST est positive lorsque le retard d'adoption est de moins d'un an, et négative lorsqu'il est de plus de cinq ans (Tableaux 4 à 6). Cela indique que la probabilité d'adoption de la technologie de pointe dans moins d'une année par les entreprises diminue, tandis que la probabilité qu'elles adoptent la technologie dans plus de 5 ans augmente. La quasi-élasticité COST fournit aussi une estimation de l'ampleur des variations. Par exemple, dans le cas des technologies de l'inspection et des communications, une augmentation de 10 % des coûts diminue la probabilité d'une adoption précoce d'environ 0,57 % et augmente la probabilité d'une adoption tardive

³⁴ Il est à noter que la totalisation des quasi-élasticités (Tableaux 4 à 6), en ce qui a trait à chaque variable explicative, est de zéro, vu la totalisation des probabilités est de zéro, que la totalisation des dérivées est de zéro, de même que les quasi-élasticités.

d'environ 0,21 % (col. 2 et col. 5, Tableau 4). Des effets qualitatifs des coûts semblables sont observés dans le cas des technologies de la conception et de l'ingénierie (col. 2 et col. 5, Tableau 5), ainsi que de la fabrication et du montage (col. 2 et col. 5, Tableau 6).

En revanche, les quasi-élasticités BENEFIT attestent des effets contraires pour toutes les technologies. Par exemple, dans le cas des technologies de l'inspection et des communications, une augmentation de 10 % des avantages augmente la probabilité d'une adoption précoce d'environ 1,27 % et diminue la probabilité d'une adoption tardive d'environ 0,47 % (col. 2 et col. 5, Tableau 4). Dans le cas des technologies de la conception et de l'ingénierie (col. 2 et col. 5, Tableau 5), ainsi que de la fabrication et du montage (col. 2 et col. 5, Tableau 6), on observe des effets semblables des avantages. De plus, une comparaison des quasi-élasticités BENEFIT et COST viennent aussi confirmer que le retard d'adoption est plus sensible aux variations au niveau des avantages qu'il ne l'est aux variations au niveau des coûts³⁵.

Les quasi-élasticités fournissent aussi les variations en pourcentage quant à la probabilité d'adoption pour les périodes de 1 à 3 ans et de 3 à 5 ans pour les variations en unités propres à chacune des variables explicatives (Tableaux 4 à 6). Par exemple, la quasi-élasticité COST pour les retards d'adoption de 1 à 3 ans et de 3 à 5 ans est négative pour toutes les technologies. La quasi-élasticité BENEFIT est positive pour tous les mêmes retards d'adoption. Cela signifie que des coûts les plus élevés viennent augmenter la probabilité d'adoption tardive. Une augmentation au niveau des avantages provoque l'effet contraire. De plus, pour les variables BENEFIT et COST, l'ampleur de la quasi-élasticité de la colonne 4 est supérieure à l'ampleur de la quasi-élasticité des colonnes 3 et 5. On peut en conclure que les effets des variations au niveau des coûts et des avantages sont concentrés dans la catégorie des retards de 3 à 5 ans.

Les Tableaux 4, 5 et 6 traduisent l'ampleur et l'orientation des variations quant aux retards d'adoption en raison des variations d'autres variables explicatives. Les valeurs de l'élasticité indiquent que les effets des variations de chaque variable explicative sont généralement concentrés dans la catégorie des retards de 3 à 5 ans.

8. Discussion et conclusions

Les études antérieures portant sur l'adoption et la diffusion de technologies ont dû reposer sur des approximations quant aux compétences des entreprises, comme par exemple la taille des entreprises. La présente étude repose sur un ensemble de variables plus riche visant à mesurer plus directement les caractéristiques des technologies et des entreprises. Les résultats attestent que les caractéristiques des technologies ont un effet prédominant sur les retards d'adoption pour tous les groupes de technologies. La plupart des variables reliées aux caractéristiques des entreprises conservent leurs symboles, lorsque l'ensemble

³⁵ La quasi-élasticité BENEFIT est supérieure à la quasi-élasticité COST pour toutes les technologies (col. 2 et col. 5, Tableaux 4 à 6).

de variables antérieures est ajouté à la régression, bien que certaines aient un effet non significatif sur les retards d'adoption. La pression concurrentielle dans la branche d'industrie des entreprises "adoptantes", telle que mesurée selon le nombre d'entreprises au sein d'une industrie - un élément de la structure du marché - n'a aucun effet monotone.

Le principal résultat intéressant a trait à l'incidence des coûts et des avantages sur l'adoption. Les entreprises varient considérablement quant à leur capacité de tirer les avantages liés à l'adoption des technologies. Plus l'adoption se fait tôt, plus les avantages sont élevés. D'autre part, lorsque les coûts sont perçus comme étant une entrave, cela allonge le délai d'adoption. Comparativement aux coûts, l'effet des avantages est plus sensible au retard d'adoption. Il ressort aussi que la proximité géographique représente un facteur important quant à la décision d'adoption. Si les technologies sont disponibles au niveau local, les entreprises ont tendance à les adopter plus tôt. Si elles émanent de pays étrangers, particulièrement des pays côtiers du Pacifique, les entreprises ont tendance à les adopter plus tard. Le document a aussi mis à l'essai l'effet de plusieurs nouvelles variables sur la proximité relatives aux capacités techniques des entreprises pour ce qui est des retards d'adoption. Ces variables ont trait à la compétitivité technologique et à la capacité d'investissement d'une entreprise. Les deux variables viennent raccourcir les retards d'adoption. Les entreprises possédant de meilleures capacités technologiques et d'investissement ont tendance à adopter toutes les technologies tôt.

Les résultats empiriques indiquent que la propriété et la date de fondation de l'établissement représentent deux caractéristiques fermes qui ont une incidence considérable sur les retards d'adoption. Ces deux caractéristiques viennent confirmer les hypothèses sur les retards d'adoption. Les établissements plus récents ont tendance à adopter toutes les nouvelles technologies plus tôt que les établissements plus anciens.

Contrairement aux attentes, nos données démontrent que les établissements sous contrôle canadien adoptent les technologies plus rapidement que leurs homologues étrangers. Placées dans ce contexte, nos données ne démontrent nullement que les entreprises multinationales soient plus portées à une diffusion rapide des technologies, comme le suggèrent Cohen et Levin (1989) et Caves (1982).

En ce qui a trait à la taille de l'entreprise, il convient de noter que, bien que la documentation théorique et empirique contienne des résultats variables quant à l'incidence de la taille d'une entreprise sur l'adoption d'une technologie, nos données dénotent un rapport positif, bien que non significatif, entre la taille de l'entreprise et l'adoption d'une technologie. Cela vient étayer de façon minime la conception schumpetérienne, soit que : plus la taille absolue d'une entreprise est grande, plus cette dernière sera en mesure d'adopter toutes les technologies avant les petites entreprises. Par contre, l'incidence de la taille absolue disparaît généralement lorsque le niveau de seuil est de plus de 500 employés. L'incidence de la taille relative d'une entreprise est semblable à celle de la taille absolue d'une entreprise. Nos résultats indiquent que l'incidence de la taille relative réduit les retards d'adoption—bien que l'effet soit non significatif.

En dernier lieu, nos données permettent de comprendre l'incidence de la pression concurrentielle sur les retards d'adoption. Nous constatons que les entreprises n'ayant aucun concurrent ont tendance à adopter plus tôt, mais qu'il y a peu de différence quant à la longueur du retard pour toutes les valeurs positives du nombre de concurrents.

Tableau 3. Facteurs déterminants des retards d'adoption : Modèle ordonné Probit

Variable	Inspection et communications (1)		Conception et ingénierie (2)		Fabrication et montage (3)	
	Estimation paramétrique	E.T. ^a	Estimation paramétrique	E.T. ^a	Estimation paramétrique	E.T. ^a
Intercept	1.4545 ***	0,4435	1.2589 **	0,5116	1.1154 ***	0,3879
COST	0,2118	0,1327	0,2361 **	0,1136	0,2401 **	0,1191
BENEFIT	-0,3271 **	0,1359	-0,3410 ***	0,1259	-0,0648 *	0,0367
GEO-CAN	-0,2749 **	0,1422	-0,0887	0,1207	-0,1369	0,1191
GEO-US	0,1138	0,1418	-0,1354	0,1226	0,2030 *	0,1236
GEO-EURO	-0,0020	0,2988	-0,0638	0,1926	-0,0339	0,1687
GEO-PRIM	0,4752 *	0,2643	0,0026	0,3434	0,1431	0,2019
CAPABILITY-D	-0,5208 ***	0,1613	-0,3857 ***	0,1406	-0,1094	0,1447
CAPABILITY-F	-0,2751 **	0,1423	-0,1436	0,1150	-0,2924 **	0,1227
INVESTMENT	-0,0045 **	0,0020	0,0004	0,0016	-0,0045 ***	0,0018
AGE2	-0,2518 *	0,1418	-0,2101 *	0,1237	-0,2910 **	0,1268
PLANTSIZE2	-0,1019	0,1447	-0,1227	0,1240	-0,2139	0,1335
PLANTSIZE3	0,1014	0,2509	-0,2000	0,2231	-0,0757	0,2231
DIVERSE1	-0,4152 **	0,1680	-0,3049 **	0,1543	0,1107	0,1533
DIVERSE2	-0,2306	0,2158	-0,2443	0,1984	0,0469	0,2105
DIVERSE3	0,1940	0,2867	-0,0012	0,2446	0,0135	0,2582
CANADIAN-OWNER	-0,4643 ***	0,1445	-0,3581 ***	0,1282	-0,1358	0,1455
N-COMP1	0,9807 **	0,4003	0,9236 *	0,4787	0,3311	0,3634
N-COMP2	0,8608 **	0,3927	0,7702 *	0,4640	0,5491	0,3540
N-COMP3	1.0844 ***	0,3895	0,8175 *	0,4626	0,5489	0,3502
SHARE-93	-0,2079	0,4412	-0,1008	0,4142	-0,2354	0,3946
ADOPT-INTENSITY	-0,0219	0,0381	-0,0800	0,0689	-0,0116	0,0671
μ_1	1.5746 ***	0,0967	1.5687 ***	0,0824	1.5655 ***	0,0835
μ_2	2.3907 ***	0,1399	2.3064 ***	0,1173	2.3485 ***	0,1150
Logarithme du rapport de vraisemblance	-406.32		-524.11		-491.86	
Logarithme du rapport de vraisemblance limitée	-445.21		-553.39		-513.09	
Khi carré	77.77 ***		58.55 ***		42.45 ***	
N ^b	378		481		441	

^a Erreur-type. ^b Nombre d'observations. *** Significatif à un niveau de 1 %. ** Significatif à un niveau de 5 %. * Significatif à un niveau de 10 %.

Tableau 4. Quasi-élasticités des retards d'adoption en ce qui concerne les variables explicatives : Technologie de l'inspection et des communications

Variable	Retard d'adoption : Y = 0 (moins de 1 an)	Retard d'adoption : Y = 1 (de 1 à 3 ans)	Retard d'adoption : Y = 2 (de 3 à 5 ans)	Retard d'adoption : Y = 3 (plus de 5 ans)
COST	0,0567	-0,0010	-0,0349	-0,0208
BENEFIT	-0,1274	0,0021	0,0784	0,0469
GEO-CAN	-0,1158	0,0020	0,0714	0,0424
GEO-US	0,0430	-0,0008	-0,0265	-0,0158
GEO-EURO	-0,0001	0,0000	0,0001	0,0000
GEO-PRIM	0,0140	-0,0002	-0,0086	-0,0052
CAPABILITY-D	-0,3065	0,0052	0,1887	0,1127
CAPABILITY-F	-0,1278	0,0022	0,0787	0,0469
INVESTMENT	-0,1023	0,0000	0,0630	0,0393
AGE2	-0,0629	0,0011	0,0388	0,0230
PLANTSIZE2	-0,0339	0,0006	0,0209	0,0125
PLANTSIZE3	0,0078	-0,0001	-0,0048	-0,0029
DIVERSE1	-0,1593	0,0027	0,0981	0,0585
DIVERSE2	-0,0200	0,0004	0,0123	0,0073
DIVERSE3	0,0103	-0,0002	-0,0064	-0,0038
CANADIAN-OWNER	-0,2303	0,0039	0,1419	0,0846
N-COMP1	0,1448	-0,0025	-0,0891	-0,0532
N-COMP2	0,2424	-0,0041	-0,1492	-0,0891
N-COMP3	0,3266	-0,0056	-0,2012	-0,1198
SHARE-93	-0,0165	0,0003	0,0101	0,0060
ADOPT-INTENSITY	-0,0448	0,0007	0,0276	0,0166

Tableau 5. Quasi-élasticités des retards d'adoption en ce qui concerne les variables explicatives : Technologie de la conception et de l'ingénierie

Variable	Retard d'adoption : Y = 0 (moins de 1 an)	Retard d'adoption : Y = 1 (de 1 à 3 ans)	Retard d'adoption : Y = 2 (de 3 à 5 ans)	Retard d'adoption : Y = 3 (plus de 5 ans)
COST	0,0729	-0,0061	-0,0395	-0,0274
BENEFIT	-0,1760	0,0145	0,0952	0,0663
GEO-CAN	-0,0364	0,0030	0,0198	0,0137
GEO-US	-0,0539	0,0044	0,0291	0,0203
GEO-EURO	-0,0032	0,0003	0,0017	0,0012
GEO-PRIM	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CAPABILITY-D	-0,2457	0,0204	0,1330	0,0923
CAPABILITY-F	-0,0648	0,0053	0,0351	0,0243
INVESTMENT	0,0096	0,0000	-0,0096	0,0000
AGE2	-0,0584	0,0048	0,0317	0,0219
PLANTSIZE2	-0,0371	0,0031	0,0201	0,0139
PLANTSIZE3	-0,0149	0,0012	0,0081	0,0056
DIVERSE1	-0,1306	0,0108	0,0708	0,0491
DIVERSE2	-0,0229	0,0019	0,0124	0,0086
DIVERSE3	-0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
CANADIAN-OWNER	-0,1981	0,0165	0,1073	0,0743
N-COMP1	0,1494	-0,0124	-0,0808	-0,0562
N-COMP2	0,2117	-0,0175	-0,1145	-0,0797
N-COMP3	0,2684	-0,0222	-0,1453	-0,1009
SHARE-93	-0,0060	0,0005	0,0033	0,0023
ADOPT-INTENSITY	-0,0776	0,0063	0,0418	0,0295

Tableau 6. Quasi-élasticités des retards d'adoption en ce qui concerne les variables explicatives : Technologie de la fabrication et du montage

Variable	Retard d'adoption : Y = 0 (moins de 1 an)	Retard d'adoption : Y = 1 (de 1 à 3 ans)	Retard d'adoption : Y = 2 (de 3 à 5 ans)	Retard d'adoption : Y = 3 (plus de 5 ans)
COST	0,0811	0,0112	-0,0530	-0,0392
BENEFIT	-0,1292	-0,0174	0,0842	0,0624
GEO-CAN	-0,0401	-0,0055	0,0262	0,0194
GEO-US	0,0672	0,0093	-0,0439	-0,0326
GEO-EURO	-0,0048	-0,0007	0,0031	0,0023
GEO-PRIM	0,0092	0,0013	-0,0060	-0,0045
CAPABILITY-D	-0,0641	-0,0088	0,0419	0,0310
CAPABILITY-F	-0,1160	-0,0161	0,0760	0,0561
INVESTMENT	-0,1592	-0,0265	0,1061	0,0796
AGE2	-0,0730	-0,0101	0,0477	0,0354
PLANTSIZ2	-0,0585	-0,0081	0,0382	0,0283
PLANTSIZ3	-0,0040	-0,0006	0,0026	0,0020
DIVERSE1	0,0445	0,0062	-0,0291	-0,0215
DIVERSE2	0,0044	0,0006	-0,0029	-0,0021
DIVERSE3	0,0006	0,0001	-0,0004	-0,0003
CANADIAN-OWNER	-0,0675	-0,0092	0,0442	0,0326
N-COMP1	0,0468	0,0064	-0,0306	-0,0226
N-COMP2	0,1474	0,0203	-0,0964	-0,0713
N-COMP3	0,1579	0,0217	-0,1033	-0,0763
SHARE-93	-0,0064	-0,0009	0,0042	0,0031
ADOPT-INTENSITY	-0,0075	-0,0009	0,0049	0,0035

Références

Arcangeli, F., D.G. Dosi et M. Moggi. 1991. "Patterns of Diffusion of Electronics Technologies: An International Comparison with Special Reference to the Italian Case." *Research Policy* 20: 515-29.

Baldwin, J. et B. Diverty. 1995. Utilisation des technologies de pointe dans les établissements de fabrication. Document de recherche n° 85. Direction des études analytiques. Ottawa : Statistique Canada.

Baldwin, J. et D. Sabourin. 1995. *Adoption de la technologie dans le secteur de la fabrication au Canada*. N° 88-512 au Catalogue. Ottawa : Statistique Canada.

Baldwin, J., D. Sabourin et M. Rafiquzzaman. 1996. *Avantages et problèmes liés à l'adoption de la technologie dans le secteur de la fabrication au Canada*. N° 88-514E au Catalogue. Ottawa : Statistique Canada.

Caves, R.E. 1982. *Multinational Enterprise and Economic Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.

Caves, R.E. 1992. *Industrial Efficiency in Six Nations*. Cambridge, MA: MIT Press.

Clark, K. 1987. "Investment in New Technology and Competitive Advantage." In *The Competitive Challenge*. Edited by D.J. Teece. New York: Harper & Row.

Cohen, W.M. et R.C. Levin. 1989. "Empirical Studies of Innovation and Market Structure." In *Handbook of Industrial Organization*. Edited by R.Schmalansee and R.W. Willig. Amsterdam: North Holland.

Colombo, M.G. et R. Mosconi. 1995. "Complementarity and Cumulative Learning Effects in the Early Diffusion of Multiple Technologies." *The Journal of Industrial Economics* 43, no. 1 (March): 13-48.

Cramer, J.S. 1991. *The Logit Model for Economists*. London: Edward and Arnold.

Dasgupta, P. et J. Stiglitz. 1980, "Uncertainty, Industrial Structure, and the Speed of R&D." *Bell Journal of Economics* 11: 1-28.

Dasgupta, P. 1986. "The Theory of Technological Competition." In *New Developments in the Analysis of Market Structure*. Edited by J.E. Stiglitz and G.F. Mathewson. 519-47. Cambridge, MA: MIT Press.

David, P. 1975. *Technical Choice, Innovation and Economic Growth*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Davies, S. 1979. *The Diffusion of Process Innovations*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dosi, D.G. 1982. "Technological Paradigms and Technological Trajectories: A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change." *Research Policy* 11, 147-62.
- Edquist, C. et S. Jacobsson. 1988. *Flexible Automation: The Global Diffusion of New Technology in the Engineering Industry*. New York: Basil Blackwell.
- Fudenberg, D. et J. Tirole. 1985. "Preemption and Rent Equalization in the Adoption of New Technology." *Review of Economic Studies* 52: 383-401.
- Greene, W.H. 1997. *Econometric Analysis*. 3d ed. New Jersey: Prentice-Hall.
- Hannan, T.H. et J.M. McDowell. 1984. "The Determinants of Technology Adoption: The Case of Banking Firm." *The RAND Journal of Economics* 15: 328-35.
- Hannan, T.H. et J.M. McDowell. 1987. "Rival Precedence and the Dynamics of Technology Adoption: An Empirical Analysis." *Economica* 54: 155-71.
- Jensen, R. 1982. "Adoption and Diffusion of an Innovation of Uncertain Profitability." *Journal of Economic Theory* 27:182-93.
- Jensen, R. 1983. "Innovation Adoption and Diffusion when there are Competing Innovations." *Journal of Economic Theory* 29: 161-71.
- Lane, S.J. 1991. "The Determinants of Investment in New Technology." *American Economic Review* 81, no. 2 (May): 262-65.
- Levin, S.G., S.L. Levin, et J.B. Meisel. 1987. "A Dynamic Analysis of the Adoption of a New Technology: The Case of Optical Scanners." *The Review of Economics and Statistics* 69: 12-17.
- Linder, R., A. Fisher et P. Pardey. 1979. "The Time to Adoption." *Economic Letters* 2: 187-90,
- Maddala, G.S. 1983. *Limited-Dependent and Qualitative Variables in Econometrics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Majumdar, S.K. et S. Venkataraman. 1993. "New Technology Adoption in US Telecommunications: The Role of Competitive Pressures and firm-Level Inducements." *Research Policy* 22: 521-36.
- Mansfield, E. 1961a. "Intrafirm Rates of Diffusion of an Innovation." *Review of Economics and Statistics* 45: 345-59.
- Mansfield, E. 1961b. "Technical Change and the Rate of Imitation." *Econometrica* 29, no. 2: 741-66.

- Mansfield, E. 1968. *The Economics of Technical Change*. New York: W. W. Norton.
- McFetridge, D.G. 1992. *Advanced Technologies in Canada: An Analysis of Recent Evidence on Their Use*. Ottawa : Ministre des Approvisionnement et Services Canada.
- McKelvey, R.D. et W. Zavonia. 1975. "A Statistical Model for the Analysis of Ordinal Level Dependent Variables." *Journal of Mathematical Sociology* 4: 103-20,
- Metcalf, S. 1990, "On Diffusion, Investment and the Process of Technological Change." In *Technology and Investment: Crucial Issues for the 1990s*. Edited by E. Deiac, E. Hornell, and G. Vickery. 17-38.London: Pinter Publishers.
- Milgrom, P. et J. Roberts. 1990, "The Economics of Modern Manufacturing: Technology, Strategy, and Organization." *American Economic Review* 80, no. 3: 511-28.
- Mookherjee, D. et D. Ray. 1991. "On the Competitive Pressures Created by the Diffusion of Innovations." *Journal of Economic Theory* 54: 124-47.
- Nabseth, L. et G.F. Ray. 1974. *Diffusion of New Industrial Processes*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Oster, S. 1982. "The Diffusion of Innovation Among Steel Firms: The Basic Oxygen Furnace." *The Bell Journal of Economics* 13: 45-56.
- Ravenscraft, D.J. 1983. "Structure-profit Relationships at the Line of Business and Industry Level." *The Review of Economics and Statistics* 65 (February): 22-29.
- Reinganum, J.F. 1981a. "On the Diffusion of New Technology: A Game Theoretic Approach." *Review of Economic Studies* 48: 395-405.
- Reinganum, J.F. 1981b. "Market Structure and Diffusion of New Technology." *Bell Journal of Economics* 12: 618-24.
- Reinganum, J.F. 1989. "The Timing of Innovation: Research, Development, and Diffusion." In *Handbook of Industrial Organization*. Edited by R. Schmalensee and R. Willing. Vol.1. 849-908. New York: Elsevier Science Publishers.
- Rogers, E.M. 1983. *Diffusion of Innovations*. New York: Free Press.
- Romeo, A.A. 1975. "Interindustry and Interfirm Differences in the Rate of Diffusion of an Innovation." *Review of Economics and Statistics* 57: 311-19.
- Romeo, A.A. 1977. "The Rate of Imitation of a Capital-Embodied Process Innovation." *Economica* 44: 63-69.

Rose, N.L. et P.L. Joskow. 1990, "The Diffusion of New Technologies: Evidence from the Electrical Utility Industry." *The RAND Journal of Economics* 21: 354-73.

Saloner, G. et A. Shepard. 1995. "Adoption of Technologies with Network Effects: An Empirical Examination of the Adoption of Automated Teller Machines." *The RAND Journal of Economics* 26, no. 3 (Autumn): 479-501.

Stoneman, P. 1981. " Intrafirm Diffusion, Bayesian Learning and Profitability." *Economic Journal* 91: 375-88.

Stoneman, P. 1983. *The Economic Analysis of Technological Change*. London: Oxford University Press.

Stoneman, P. 1986. "Technological Diffusion: the Viewpoint of Economic Theory." *Ricerche Economiche* 40, no. 4: 585-606.

Stoneman, P. 1987. *The Economic Analysis of Technology Policy*. London: Oxford University Press.

Taymaz, E. 1991. " Flexible Automation in the U.S. Engineering Industries." *International Journal of Industrial Organization* 9: 557-72.

Thirtle, C.G. et V.W. Ruttan. 1987. *The Role of Demand and Supply in the Generation and Diffusion of Technical Change*. New York: Harwood Academic Publishers.

Tirole, J. 1988. *The Theory of Industrial Organization*. Cambridge, MA: MIT Press.

Weiss, A.M. 1994. "The Effects of Expectations on Technology Adoption: Some Empirical Evidence." *The Journal of Industrial Economics* 42, no. 2 (December): 341-60.

Zaltman, G., R.B. Duncan, et J. Holbeck. 1973. *Innovations and Organizations*, New York: Wiley.