

L'utilisation des **technologies de pointe** dans le **nouveau contexte** de la **production manufacturière**

Étude

Mars 2006

Conseil de la science et de la technologie

1200, route de l'Église, bureau 3.45
3e étage
Sainte-Foy QC G1V 4Z2
Téléphone: (418) 644-1165
Télécopie : (418) 646-0920
Courriel : cst@cst.gouv.qc.ca
Site Internet : <http://www.cst.gouv.qc.ca>

Recherche et rédaction

José Viñals
Agent de recherche

Coordination des communications

Katerine Hamel
Agente d'information

Mise en pages

Catherine Moreau

Révision linguistique

Le Graphe

Dépôt légal : 1er trimestre 2006
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
ISBN 2-550-46288-2

Pour faciliter la lecture du texte, le genre masculin est utilisé sans aucune intention discriminatoire.
© Gouvernement du Québec 2006

Remerciements

Nous remercions monsieur Pierre-André Julien, de l'Institut de recherche sur les PME de l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR) , monsieur Benoît Montreuil, professeur titulaire au Département des opérations et systèmes de décision de l'Université Laval, ainsi que madame Guylaine Belley, associée du Groupe Createch, pour leur relecture soignée. Leurs commentaires ont grandement contribué à l'amélioration du document. Nous remercions également messieurs Alain Bergeron, secrétaire général, et Daniel Lebeau, agent de recherche, du secrétariat du Conseil, pour leurs précieux commentaires.

Table des matières

Remerciements

Introduction..... 1

Chapitre 1 Le nouveau paradigme manufacturier..... 3

1. La « nouvelle économie » 3
2. La personnalisation de masse ou *Mass Customization* 4
3. La qualité des produits 8
4. La nouvelle compétition et les chaînes de valeur 9
5. Les réseaux de production et les systèmes de production locaux..... 15

Principaux constats 24

Chapitre 2 L'architecture des produits et de l'organisation..... 25

1. Les composantes de la production 25
2. L'architecture du produit et l'architecture de l'organisation 27
3. Le développement de produits..... 34
4. Les différents modes de production manufacturière 38

Principaux constats 41

Chapitre 3 Les technologies de fabrication de pointe..... 43

1. Brève description des technologies de fabrication de pointe 43
2. L'utilisation des technologies de fabrication de pointe 55
 - 2.1 Les TFP et la productivité 57
 - 2.2 L'utilisation des TFP selon la taille de l'entreprise 61
 - 2.3 L'utilisation des TFP selon le secteur industriel et le type de production..... 65
 - 2.4 L'utilisation des TFP et la stratégie d'entreprise 69
 - 2.5 L'utilisation des TFP au Québec 73
3. Les obstacles à l'adoption des technologies de fabrication de pointe 77

Principaux constats 82

Annexe Les trois niveaux du système national d'innovation..... 85

Liste des tableaux

Chapitre 1	Le nouveau paradigme manufacturier.....	3
Tableau 1.1	Taux salarial moyen dans le secteur manufacturier.....	10
Tableau 1.2	Les différents types de sous-traitance	14
Chapitre 3	Les technologies de fabrication de pointe.....	43
Tableau 3.1	Technologies de conception, de production et de coordination	44
Tableau 3.2	Taux d'adoption des technologies de pointe par groupe fonctionnel pour les enquêtes de 1989, 1993 et 1998	45
Tableau 3.3	Évolution du secteur manufacturier	47
Tableau 3.4	Utilisation des technologies de pointe par groupe fonctionnel, Canada, 1989-1998.....	56
Tableau 3.5	Utilisation des technologies de pointe au Québec, 2001	56
Tableau 3.6	Lien entre la croissance de la performance (1988-1997) et l'adoption de technologies de pointe (1998)	58
Tableau 3.7	Taux d'utilisation des TFP en 1998, selon la taille de l'usine	61
Tableau 3.8	Indice d'utilisation des technologies avancées selon la taille de l'entreprise (nombre moyen de technologies avancées différentes utilisées)	61
Tableau 3.9	Présence et maîtrise des technologies et applications avancées de fabrication	62
Tableau 3.10	Utilisation des TFP par groupe fonctionnel et secteur industriel suivant l'enquête de 1998.....	67
Tableau 3.11	Taux d'utilisation des TFP selon le système de production	69
Tableau 3.12	Objectifs de l'introduction de TFP au cours des trois dernières années (chez les répondants ayant introduit des TFP)	72
Tableau 3.13	Nombre de technologies de pointe utilisées par région.....	74
Tableau 3.14	Adoption de technologies de pointe par groupe fonctionnel, par région.....	74
Tableau 3.15	Taux d'adoption des TFP en fonction de la taille de l'entreprise pour le Québec, l'Ontario et l'ensemble du Canada suivant l'enquête de 1998.....	76
Tableau 3.16	Taux d'adoption des TFP en fonction du système de production pour le Québec, l'Ontario et l'ensemble du Canada.....	76
Tableau 3.17	Avantages liés à l'adoption de technologies de pointe, selon l'enquête de 1993.....	78
Tableau 3.18	Obstacles à l'adoption des technologies de fabrication de pointe, selon l'enquête de 1993.....	79
Tableau 3.19	Pourcentage d'usines utilisatrices de TFP qui accordent une importance aux obstacles, enquête de 1998.....	80

Liste des figures

Chapitre 1	Le nouveau paradigme manufacturier.....	3
Figure 1.1	Le spectre des stratégies de production.....	6
Figure 1.2	Pourcentage des ventes relié à de nouveaux produits.....	10
Figure 1.3	Diminution du cycle de développement de nouveaux produits.....	10
Figure 1.4	La chaîne de valeur	13
Figure 1.5	Différentes formes d'organisation de l'activité économique.....	15
Figure 1.6	Typologies nationales des systèmes de production locaux	18
Figure 1.7	Délocalisation de la production et cycle de vie d'un produit	20
Chapitre 2	L'architecture des produits et de l'organisation.....	25
Figure 2.1	La complexité des produits manufacturés	30
Figure 2.2	Impact d'un processus structuré de développement de produits	36
Figure 2.3	Effets de l'intégration de partenaires externes sur le processus l'innovation	37
Figure 2.4	Les quatre univers de production	40
Chapitre 3	Les technologies de fabrication de pointe.....	43
Figure 3.1	Les principaux outils d'intégration des données de l'entreprise	48
Figure 3.2	Lien entre le changement technologique et le changement organisationnel.....	60
Figure 3.3	Croissance de l'utilisation des technologies de pointe par tranche de taille 1993 à 1998.....	64
Figure 3.4	Type de système de production utilisé par certaines industries	68
Figure 3.5	Les liens entre l'utilisation des technologies et les performances de l'entreprise.....	70

Introduction

Le présent document vise à exposer, à la suite d'une revue de la littérature, certains des principaux changements qui ont affecté le secteur manufacturier au cours des dernières années. L'arrivée massive des technologies de l'information et la mondialisation des marchés ont provoqué une profonde mutation du processus de production manufacturière. Ces changements sont cependant de nature tant technologique qu'organisationnelle.

Ce document a été réalisé dans le cadre de la préparation d'un avis portant sur la gestion de l'innovation dans le secteur manufacturier. Il permet de jeter un éclairage sur la composante technologique de la stratégie des entreprises manufacturières en s'attardant principalement à l'utilisation des technologies de fabrication de pointe (TFP). Ces nouvelles technologies influent largement sur la productivité et l'organisation de la production des entreprises manufacturières. Nous cherchons ici à dégager les conditions qui favorisent une implantation et une utilisation réussies de ces technologies.

Le document se divise en trois chapitres.

Le premier chapitre dresse un portrait général de l'évolution récente du secteur manufacturier. L'arrivée sur le marché des entreprises japonaises et l'importance qu'elles accordent à la qualité des produits constituent l'un des points de départ de l'émergence d'un nouveau paradigme de la production manufacturière. Les modifications de la structure des entreprises, la globalisation des marchés et la place grandissante de la production en réseau font partie des nouvelles conditions du marché.

Le deuxième chapitre définit le produit manufacturé comme le résultat de l'interaction complexe entre trois grandes composantes : la conception et la fabrication, l'organisation de la production et l'organisation du travail ou des ressources humaines. Nous introduisons les notions de complexité et d'architecture de produit de manière à expliquer comment la nature d'un produit conditionne les rapports qui s'établissent entre les entreprises faisant partie d'un réseau de production et comment elle influence les choix stratégiques de ces entreprises. La gestion du savoir, qui s'exprime naturellement dans le développement de nouveaux produits, s'impose comme l'une des méthodes de gestion les mieux adaptées au nouveau contexte manufacturier.

Le dernier chapitre se penche sur l'adoption des TFP. L'utilisation de ces technologies est généralement perçue comme une condition nécessaire à la réussite des entreprises engagées dans une compétition globale. Bien qu'elles aient une influence directe sur la productivité des entreprises, les TFP ne révèlent tout leur potentiel que lorsqu'elles sont accompagnées d'un ensemble d'innovations organisationnelles. Les données très agrégées disponibles sur les taux d'adoption des TFP masquent bien souvent des réalités sectorielles fort variées. L'adoption éclairée des TFP ne peut se réduire, dans tous les cas, à une logique de diminution des coûts de production ou d'augmentation de la productivité. Elle doit s'inscrire dans une stratégie d'affaires cohérente qui mise sur la valorisation des savoirs et des compétences présentes au sein de l'entreprise.

CHAPITRE 1

LE NOUVEAU PARADIGME MANUFACTURIER

1. La « nouvelle économie »

Le concept de « nouvelle économie » s'est imposé au milieu des années 1990 sans jamais recevoir une définition qui fasse l'unanimité chez les économistes. Il en est résulté une variété d'interprétations qui rendent l'examen et l'évaluation du phénomène difficile. On associe ce concept soit à une période de croissance soutenue, sans inflation, particulièrement aux États-Unis, soit à l'arrivée de l'Internet ou encore à l'envahissement dans tous les secteurs de production des technologies de l'information et des communications (TIC)¹.

Pour certains auteurs, la « nouvelle économie » basée sur l'utilisation massive des technologies de l'information, et plus particulièrement sur l'Internet, ne serait qu'un mythe². L'arrivée des ordinateurs ne constituerait pas une révolution industrielle comparable à celles qui ont ponctué la fin du XIX^e et l'ensemble du XX^e siècle, comme l'invention du moteur à combustion ou l'utilisation de l'électricité³. Les outils informatiques ne feraient que remplacer ou améliorer des formes de communication ou de coordination dont l'apparition remonte au début du XX^e siècle. L'économie mondiale reposerait donc encore sur des fondements qui datent du début du siècle dernier, soit l'utilisation du pétrole comme principale source d'énergie et une architecture d'entreprise fortement hiérarchique.

Pour d'autres, malgré l'effondrement des titres du Nasdaq en 2000, la révolution des TIC est réelle et façonne de nouveaux modes d'organisation des entreprises et de la production. En effet, ce ne sont pas tant les TIC en soi qui constituent une révolution, mais bien leur capacité de modifier les structures de l'entreprise par la mise en réseau des informations qui permet la décentralisation et le partage de l'information en temps réel, en n'importe quel point du globe⁴. Ces caractéristiques de la « nouvelle économie », généralement associées au développement du secteur des services, s'associent aux plus récents développements technologiques et créent de nouvelles conditions pour le secteur manufacturier, lequel s'engage à son tour dans l'ère du *New Manufacturing*⁵. La façon de produire des biens serait tout à fait différente aujourd'hui de ce qu'elle était il y a seulement une vingtaine d'années. Le mode de production fordiste, ou de production de masse, destiné à des marchés de proximité fait de plus en plus place à une production décentralisée destinée à une clientèle globale. On assisterait à un véritable changement de paradigme.

Deux grands facteurs seraient à l'origine de ce changement : la mondialisation et l'émergence des TIC. Ces deux facteurs sont intimement liés. La mondialisation est le résultat combiné d'une déréglementation, principalement dans le secteur financier, qui a permis de libérer des capitaux et a rendu possibles des fusions d'entreprises jusque-là interdites, et d'une diffusion massive de l'utilisation

¹ Bertrand Bellon, Abdel Ben Youssef et Alain Rallet, « La nouvelle économie en perspective », *Economica*, 2003, 286 p.

² Jean Gadrey, *La nouvelle économie. Un mythe techno-libéral*, 2003, p. 11-26.

³ Robert J. Gordon, *Does the « New Economy » measure up to the great inventions of the past?*, National Bureau of Economic Research, 2000, 54 p.

⁴ Catherine L. Mann, *The New Economy : End of the Welfare State?*, 2001, 16 p.

⁵ Voir, par exemple, E. Cahill, *Technology Maps for Manufacturing, Production and Services*, 2001, 35 p.

des TIC qui a permis d'accélérer les transactions internationales et de centraliser ou de décentraliser, selon les besoins, certaines opérations de l'entreprise⁶. Bien que la mondialisation ne soit pas un phénomène récent dans l'histoire économique, son ampleur et la rapidité des changements qui l'accompagnent confèrent à l'époque actuelle un caractère distinctif.

2. La personnalisation de masse ou *Mass Customization*

Un troisième facteur est souvent avancé pour expliquer le changement de paradigme avec lequel le secteur manufacturier doit composer : les nouvelles exigences des consommateurs sur le plan de la qualité et de la personnalisation des produits. Cette réalité nouvelle amène les entreprises à revoir leur mode de production pour tendre vers une « production sur demande ».

Cette demande inédite des marchés contraste avec celle qui avait cours au sortir de la Deuxième Guerre mondiale. Le paradigme de production de masse qui dominait les marchés depuis le début des années 1900 était basé sur la réduction des coûts unitaires de produits fortement standardisés et destinés à une clientèle homogène. La structure de production, tant sur le plan technologique que sur le plan organisationnel, s'est donc adaptée à ce paradigme. Les machines ont remplacé intensivement le travail humain. Dans cet environnement, le travailleur est dépouillé du savoir-faire et des connaissances qui étaient à la base de la production artisanale. La nécessité de produire des biens en grande quantité impose une cadence qu'il faut garder à tout prix, ce qui empêche toute flexibilité dans le processus de production. Les rapports entre ouvriers et direction sont conflictuels. La structure organisationnelle de l'entreprise est fortement hiérarchisée et cloisonnée, l'essentiel des prises de décision étant assuré par le management. La fonction de recherche et développement (R-D) suit le modèle de la fonction de production, un travail séquentiel à l'image des chaînes de montage⁷.

Or, les nouvelles demandes de produits personnalisés, de qualité et à prix abordable, exigent une flexibilité de l'appareil de production qui s'accommode mal de la stratégie de production de masse. La « personnalisation de masse » ou le « sur mesure de masse » consiste à manufacturer des produits en petites quantités tout en bénéficiant des économies d'échelle de la production de masse. Dans sa version extrême, on parle de fabrication à l'unité ou *manufacturing to one*.

Il s'ensuit une modification de l'ensemble de la chaîne de production pour être en mesure de satisfaire ces exigences à coût rentable. La structure organisationnelle s'en trouve également modifiée; la grande entreprise intégrée cède la place à un réseau d'entreprises, à une gestion de la chaîne logistique, à la livraison en juste-à-temps des composantes, etc. La structure de production doit répondre de façon quasi instantanée à la demande et les délais de production doivent être réduits au minimum. Les stocks diminuent, libérant des immobilisations qui peuvent être réinvesties en R-D et en commercialisation des produits. Le design, l'esthétique, la qualité et la durabilité des produits deviennent aussi importants que le coût.

⁶ Thomas Hatzichronoglou, *La mondialisation des industries dans les pays de l'OCDE*, 1999, 55 p. (p. 8).

⁷ B. Joseph Pine II, *Mass Customization. The New Frontier in Business Competition*, Harvard Business School Press, 1993, 332 p. (p. 87).

Pour soutenir un tel mode de production, il faut s'appuyer sur des systèmes d'information extrêmement développés, capables de lier la commande du client au processus de production. L'information doit être partagée par toutes les entreprises du réseau de production. La structure organisationnelle doit donc s'ajuster à la structure de production. Le *hardware* est indissociable du *software* : l'utilisation des TI dans les robots et les machines à contrôle numérique est indissociable de celle de la gestion du processus dans son ensemble.

Il faut signaler que dans ce type de production les économies d'échelle demeurent toujours présentes. L'objectif est d'arriver à une production qui comporte une certaine variété, tout en utilisant les techniques de production de masse. L'aboutissement ultime de la stratégie serait une personnalisation parfaite, c'est-à-dire une production à l'unité, à l'image de la production artisanale. Toutefois, le nouveau mode de production personnalisée doit toujours pouvoir compter sur un marché de masse pour amortir le coût de développement des produits, ce qui le distingue du mode de production artisanal. Ce marché est constitué de niches où la demande est assez forte pour permettre des économies d'échelle à l'intérieur desquelles la compétition entre entreprises pourra s'organiser sur la base de la valeur ajoutée des produits (qualité, fonctionnalités, design...). La globalisation des marchés constitue donc l'un des éléments essentiels de cette « massification » des niches. Dans ce nouveau contexte, la demande pour une catégorie de produit donné, par exemple une automobile, est prévisible; toutefois, les fluctuations portant sur des modèles spécifiques, des options ou le volume des commandes seront difficiles à prévoir⁸.

Par ailleurs, si la personnalisation de la production fait l'objet d'une abondante littérature en management et en gestion des affaires, il existe peu d'études empiriques permettant de quantifier le phénomène. Certaines études confirment que le recours à cette stratégie n'est pas une panacée et qu'il peut entraîner des hausses significatives en matière de coûts de production et de délais de livraison par exemple. La prise en compte des besoins du client dès l'étape de la conception semble également encore problématique⁹.

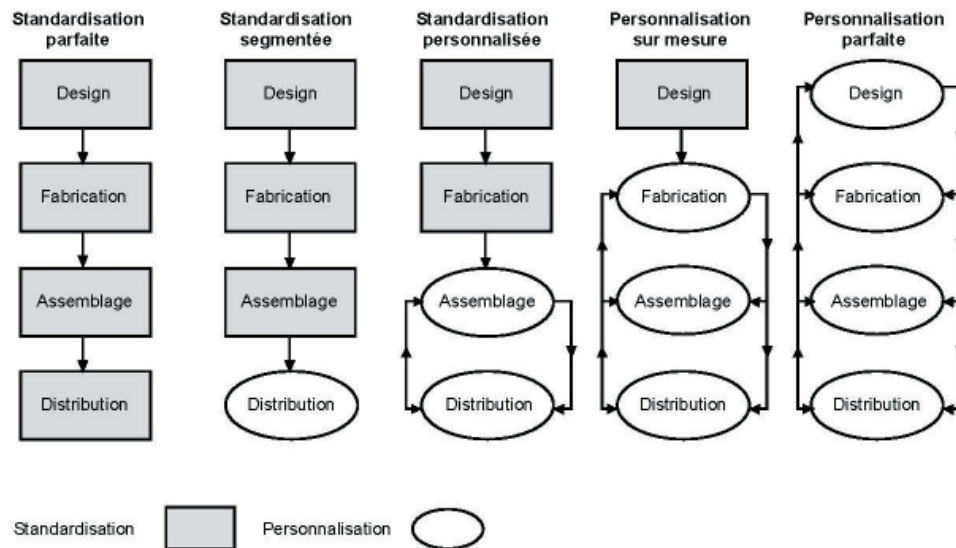
La personnalisation de masse ne doit donc pas être perçue comme un nouveau mode de production unique qui remplacerait le mode de production de masse. Elle se situe à l'intérieur d'un spectre de stratégies de production qui couvre toute l'étendue des possibilités de fabrication entre la production massive d'objets standardisés et la conception et fabrication d'un objet unique destiné à un seul client. On peut ainsi distinguer cinq stratégies de production entre ces deux extrêmes¹⁰ (figure 1.1).

⁸ Claude Olivier et Benoît Montreuil, *Méthodologie d'évaluation des aménagements pour les systèmes manufacturiers flexibles à deux niveaux*, Congrès international de génie industriel, septembre 1997, Albi, France, 15 p.

⁹ Voir, à ce sujet, Brian Squire et al., *The Impact of Mass Customization on Manufacturing Trade-offs*, s. d., 33 p. et Frank T. Piller et Melanie Muller, « A new marketing approach to mass customisation », *International Journal of Computer-integrated Manufacturing*, 2004, vol. 17, no 7 (p. 583-593).

¹⁰ Joseph Lampel et Henry Mintzberg, « Customizing customization », *Sloan Management Review*, vol. 38, no 1, 1996.

Figure 1.1
Le spectre des stratégies de production



Source : Adapté de Joseph Lampel et Henry Mintzberg, « Customizing customization », *Sloan Management Review*, vol. 38, no 1, 1996, p. 21-30.

L'intérêt de cette classification est qu'elle met en lumière les différentes possibilités de personnalisation d'un produit ou d'un service aux différentes étapes du processus de production. Elle nous montre également qu'il est difficile d'inclure les besoins des clients dès l'étape de la conception du produit. Le coût de la personnalisation tend en effet à augmenter lorsque celle-ci appelle à des changements dès la conception du produit. C'est la raison pour laquelle, en règle générale, la personnalisation s'effectue au moment de la distribution, que ce soit en personnalisant le service associé au produit, en adoptant des horaires de livraison flexibles, ou encore par le choix du type de financement par exemple. Il est plus difficile d'introduire des variables personnalisées en amont du processus de production.

Or, à l'heure actuelle, c'est dans l'utilisation éclairée des TI que réside la possibilité d'augmenter la flexibilité du système de production, tant à l'étape de la distribution qu'à celles de la conception et de la fabrication¹¹ d'un produit. Il s'agit alors de capter les demandes spécifiques formulées par les clients, de les stocker et de les transférer de manière à pouvoir les inclure aux étapes de conception ou de fabrication. Le flux de l'information qui va du client vers le producteur s'accroît, une situation à l'extrême opposé de ce que l'on observe dans la production de masse traditionnelle.

¹¹ Notamment par l'entremise de standards de représentation des données comme « STEP ». Voir à ce sujet l'avis du Conseil de la science et de la technologie *Bâtir et innover, tendances et défis dans le secteur du bâtiment*, 2003.

La personnalisation de masse repose sur trois systèmes :

- Un système qui permet de recueillir les besoins du client, ce qui représente un défi lorsque ce dernier n'est pas en mesure de préciser ses propres besoins. L'Internet peut constituer à cet égard un outil de premier ordre;
- Un système de production flexible qui demande le recours à des technologies de fabrication de pointe (TFP), souvent coûteuses, et à une supervision de l'ensemble des fournisseurs de composantes;
- Un système de distribution qui permet de conserver l'information sur le client et de respecter les mêmes délais de livraison que ceux d'une production standardisée.

Ces trois systèmes doivent également se coordonner, ce qui a des répercussions sur le type d'organisation que la chaîne de production devra mettre en place¹². Ce type de production ne convient pas nécessairement à tous les produits.

Qu'il s'agisse de la conception, de la fabrication, de l'assemblage ou de la distribution, le dénominateur commun de toutes les étapes de ce nouvel environnement de production est la flexibilité, tant sur le plan technologique qu'organisationnel. Celle-ci se définit comme la capacité d'un système à s'adapter de manière efficace aux changements, que ces changements soient internes (accessibilité des ressources) ou externes (modifications des demandes des clients)¹³. C'est le moyen d'arriver à une personnalisation des produits, la nouvelle variable sur laquelle repose la compétitivité des entreprises, après les coûts, les délais et la qualité¹⁴.

L'une des façons d'assurer cette flexibilité de manière rentable est de recourir à des composantes standardisées, issues de la production de masse, dont la myriade de combinaisons possibles permettrait de répondre à tous les besoins. On parle alors de produit modulaire ou de modularisation de la production.

La modularisation nous amène à faire une distinction entre la variété et la complexité d'un produit manufacturé. Ainsi un produit relativement simple peut-il être offert suivant une grande variété de couleurs, d'agencements ou de dimensions. En revanche, un produit peut être à ce point complexe qu'il est impossible de le fabriquer en différentes variétés (on peut penser ici à un immeuble, produit qui est le plus souvent unique et qui représente en quelque sorte un cas parfait de personnalisation). Le secteur automobile, un terrain privilégié pour l'étude de l'innovation dans le secteur manufacturier, voit les deux concepts se chevaucher. Une certaine forme de personnalisation y est assurée par le choix des options fait par le consommateur. De plus, les différents systèmes rassemblés pour former l'automobile renferment des mécaniques plus fines et plus complexes ainsi que de nombreux

¹² Paul Zipkin, « The limits of mass customization », *MIT Sloan Management Review*, vol. 42, no 3, 2001 (p. 81-87).

¹³ Subhash Wadhwa et K. Srinisava Rao, « Flexibility : An emerging meta-competence for managing high technology », *International Journal of Technology Management*, vol. 19, no 7/8, 2000 (p. 820-845).

¹⁴ Wallace J. Hopp et Mark L. Spearman, *Factory Physics*, McGraw-Hill, 2001, 698 p. (p. 5).

composants électroniques et logiciels¹⁵. La distinction entre variété et complexité est importante, puisque, comme on le verra plus loin, l'architecture (la complexité) du produit aura une influence directe sur l'architecture (la gouvernance) de l'entreprise et sur la gestion de la chaîne logistique. La complexité des produits se conjugue à la personnalisation pour augmenter davantage la complexité de la gestion des processus de production.

3. La qualité des produits

Bien qu'il soit difficile d'isoler un seul facteur ayant permis l'émergence d'un nouveau système de production, plusieurs spécialistes en management s'accordent pour dire que l'arrivée des entreprises manufacturières japonaises sur la scène internationale dans le courant des années 1970 constitue un point tournant. Particulièrement visible dans le secteur automobile (avec Toyota), cette nouvelle compétition s'est également étendue à l'électronique, aux équipements de construction ainsi qu'à d'autres secteurs.

L'amélioration continue de la qualité des produits et des processus de production est au cœur de la stratégie japonaise. Or, cette méthode contredit une idée reçue liée à la production de masse, selon laquelle la recherche de qualité entraîne une augmentation induite des coûts et voulant que le niveau de défauts issus des méthodes de production massive soit acceptable et incontournable. L'ensemble du processus de production japonais fait également l'objet d'un processus structuré d'amélioration continue (le fameux *Kaizen*) et de méthodes de gestion en « juste-à-temps », parmi les plus connues, qui tendent à réduire les stocks et mènent au concept de « production allégée » (*lean manufacturing*). Dans cet environnement, les équipements de production doivent être flexibles. Les ouvriers participent de façon active à l'amélioration du processus de production au lieu de recevoir passivement des ordres de la direction. Les entreprises se concentrent sur leur force et sous-traitent certaines fonctions à l'intérieur de partenariats¹⁶.

La mise en place de ces méthodes de gestion s'est faite difficilement aux États-Unis en raison de la culture inhérente aux entreprises traditionnelles. Il manquait aux gestionnaires un cadre conceptuel leur permettant d'expliquer la transition en cours¹⁷. En particulier, les méthodes traditionnelles d'évaluation des coûts seraient le principal obstacle à l'introduction de nouvelles technologies manufacturières. Ces méthodes surestiment les coûts de main-d'œuvre et sous-estiment les coûts liés aux inventaires¹⁸. L'information financière qui circule dans les entreprises ne tient donc pas compte des principaux gains obtenus grâce aux nouvelles méthodes de gestion utilisées par les Japonais et qui ont engendré de nouvelles conditions économiques. Par exemple, l'automatisation n'est envisagée que sous l'angle des économies en coûts de main-d'œuvre, mais ignore ses principaux avantages qui résident dans l'amélioration de la qualité et dans la flexibilité de la production¹⁹. Or :

¹⁵ Peter Klibanoff, *Contracting, Directed Parts and Complexity in Automobile Outsourcing Decisions*, Northwestern University, 2003, 40 p. [<http://www.kellogg.northwestern.edu/faculty/klibanof/ftp/workpap/klibnovak.pdf>].

¹⁶ Patricia Panchak, « Conquering a world of change », *Industry Week*, 21 septembre 1998, 7 p.

¹⁷ B. Joseph Pine II, *Mass Customization. The New Frontier in Business Competition*, Harvard Business School Press, 1993, 332 p. (p. 33).

¹⁸ Stephen F. Krar et Arthur R. Gill, *Exploring Advanced Manufacturing Technologies*, Industry Press, 2003 (p. 1-2-1).

¹⁹ Peter F. Drucker, « The emerging theory of manufacturing », *Harvard Business Review*, mai-juin 1990 (p. 94-102).

The goal of new technology should never be to eliminate labour, but to increase the flow of products through a plant, improve the product quality and be able to quickly respond to customer's needs²⁰.

En plus de l'accent mis sur la qualité des produits, deux dimensions aideraient à mieux comprendre les nouvelles approches de la production manufacturière. La première est la façon dont la production d'un bien est organisée de manière à permettre à la fois une certaine forme de standardisation et une flexibilité de la production. La deuxième dimension réside dans l'adoption d'une vision systémique de la production qui intègre toutes les étapes du cycle de vie d'un produit (de sa conception à son recyclage). Cette nouvelle vision permet d'éviter de réduire le secteur manufacturier à la seule fonction de fabrication²¹.

Les difficultés d'intégration de nouvelles méthodes de production ne viendraient donc pas tant d'un manque d'accès aux technologies que d'une inertie dans les rapports organisationnels entre entreprises et, au sein d'une même entreprise, des rapports entre gestionnaires et employés. La compétitivité des entreprises ne se base plus seulement sur la productivité des facteurs de production (en particulier les machines), mais de plus en plus sur leur capacité qu'ont ces entreprises de s'adapter aux conditions changeantes du marché et à de nouvelles formes de concurrence, donc d'innover en réponse à ces changements.

4. La nouvelle compétition et les chaînes de valeur

Deux des principales caractéristiques de la mondialisation seraient l'augmentation de la concurrence entre les entreprises et l'internationalisation de la production²². L'augmentation de la concurrence se manifeste tant sur les marchés intérieurs que sur les marchés extérieurs, et la pression se fait particulièrement sentir dans les coûts²³. Les réductions de coûts sont possibles tout au long de la chaîne de production, et c'est notamment ce qui incite certaines entreprises manufacturières à délocaliser leur production vers des régions dont les coûts de main-d'œuvre sont inférieurs (tableau 1.1), ce qui entraîne souvent des fermetures d'usines et des mises à pied dans les pays développés. On assiste donc à une internationalisation de la production où les diverses ressources nécessaires à la production (capitaux, main-d'œuvre, matières premières...) ont des origines diverses et donnent lieu à des interactions complexes entre firmes. Ainsi, un produit relativement simple, comme une petite bouteille à faire des bulles de savon achetée au Québec, est fait de composantes provenant de la Chine, du Mexique, de Hong Kong et des États-Unis²⁴.

²⁰ Stephen F. Krar et Arthur R. Gill, *op. cit.*

²¹ Peter F. Drucker, *op. cit.*

²² Thomas Hatzichronoglou, *La mondialisation des industries dans les pays de l'OCDE*, 1999, 55 p.

²³ Deloitte, Touche et Tohmatsu, *Mastering Complexity in Global Manufacturing – Powering Profits and Growth through Value Chain Synchronization*, 2003, 32 p. (p. 9).

²⁴ Pierre Thérout, « L'industrie manufacturière devra lutter pour sa survie », *Les Affaires*, 23 octobre 2004.

Tableau 1.1
Taux salarial moyen dans le secteur manufacturier

Pays	Salaire horaire en \$ US
Allemagne	32,00
États-Unis	21,30
Japon	21,00
Australie	20,00
Canada	18,35
Corée	9,75
Mexique	2,00
Chine	0,61

Source : Sherry Cooper, « The China Report », 9 août 2004, cité dans *La Chine, miracle ou mirage?*, revue *Commerce*, novembre 2004 (p. 34).

La pression est également forte en ce qui a trait à la qualité des produits. Le besoin de produits sans cesse plus performants et moins chers entraîne une accélération du rythme de conception et de commercialisation des produits (un cycle de vie plus court) (figure 1.2). On note une augmentation de la complexité des produits tant sur le plan des composantes que des fonctionnalités. Plusieurs produits renferment maintenant des composants informatiques et la demande pousse vers la fabrication de produits de meilleure qualité à bas coûts. Le taux de nouveaux produits sur le marché est le principal moyen d'augmenter les revenus (voir figure 1.3).

Figure 1.2
Diminution du cycle de développement de nouveaux produits

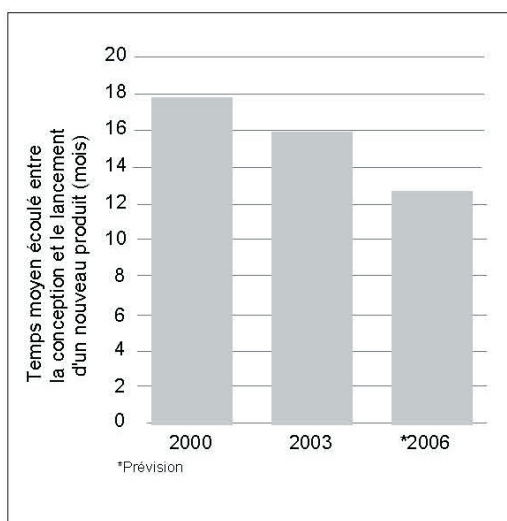
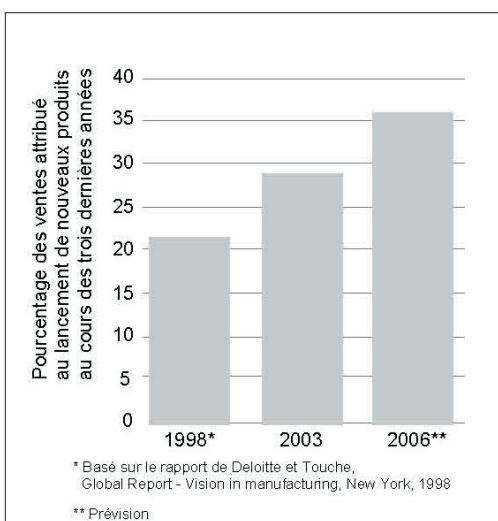


Figure 1.3
Pourcentage des ventes relié à de nouveaux produits



Source : Adapté de Deloitte, Touche et Tohmatsu, *Mastering Complexity in Global Manufacturing – Powering Profits and Growth through Value Chain Synchronization*, 2003, 32 p.

La recherche du coût le plus bas et la complexité grandissante des produits incitent les entreprises à se spécialiser dans une étape précise du cycle de production. Les entreprises sont de moins en moins en mesure de maîtriser seules l'ensemble des connaissances nécessaires à la production de produits de plus en plus complexes. Elles misent donc sur leurs compétences principales (*core competencies*), sur un ensemble de connaissances techniques, de savoirs tacites et d'aptitudes organisationnelles qui leur sont propres et qui leur confèrent un avantage compétitif. Ces compétences principales ne se limitent pas à l'addition des compétences individuelles des employés, mais surgissent de l'interaction dynamique entre les individus²⁵. Ce sont ces compétences qui permettront de créer un maximum de valeur ajoutée aux extrants de l'entreprise. Elles peuvent porter sur une étape particulière de la production (conception, fabrication, mise en marché), sur un produit ou sur une composante spécifique. Les compétences principales d'une entreprise sont, par définition, difficiles à imiter par ses compétiteurs, ce qui exclut de leur domaine les connaissances explicites largement diffusées ou les produits et les processus standardisés. Le recentrage sur ces compétences favorise un fractionnement de la chaîne de production et la modularisation de la production.

Ce fractionnement de la chaîne de production constitue un élément majeur de la reconfiguration actuelle des systèmes productifs. L'entreprise, vue traditionnellement comme un « navire amiral », prend maintenant la forme d'une flottille constituée de modules qui s'articulent autour d'une des phases du processus de production²⁶. La réussite d'une telle opération réside dans la création d'une nouvelle forme de coordination des acteurs en vue d'en arriver à une production compétitive et rentable. L'entreprise devient en quelque sorte le réseau. Ce mode de fonctionnement rappelle celui du secteur de la construction où de multiples équipes autonomes se succèdent de projet en projet sur les lieux d'érection d'un bâtiment, sous la supervision d'un maître d'œuvre responsable de la coordination de l'ensemble des acteurs²⁷. Toutefois, à la différence du secteur de la construction, encore largement enraciné dans une dimension très locale, le secteur manufacturier dans son ensemble et plus particulièrement la fonction « production » (ou « fabrication ») sont, comme on l'a vu plus tôt, fortement segmentés, spécialisés et internationalisés, formant une chaîne complexe de fournisseurs (*supply chain*) qu'il faut gérer. Les problèmes de logistique (*supply chain management*) augmentent donc avec la complexité des produits et le nombre de fournisseurs spécialisés requis pour les fabriquer : multiplication des points de production et de stockage, allongement des délais et des distances à parcourir, problèmes de coordination, etc.²⁸ Ainsi, l'ancienne division des Produits récréatifs de Bombardier est au centre d'un réseau de plus de 250 fournisseurs qui, dans certains cas, font appel à leur tour à des centaines de fournisseurs de deuxième rang²⁹. Dans un tel environnement, le recours aux TI constitue un impératif.

²⁵ Florent Catel et Jean-Charles Monatéri, *Modularité : l'émergence de nouvelles compétences organisationnelles dans les industries de biens complexes?*, Colloque IPI Autrans, 22-23 janvier 2004, 14 p.

²⁶ Cette image est tirée de Peter F. Drucker, « The emerging theory of manufacturing », *Harvard Business Review*, mai-juin 1990, p. 94-102.

²⁷ Dans le cas du secteur de la construction, la flexibilité de ce type de fonctionnement est cependant partiellement oblitérée par le manque de fluidité des échanges d'information entre les acteurs. Voir à ce sujet l'avis du Conseil *Bâtir et innover*.

²⁸ Alain Halley, « Sous-traitance et chaîne logistique ou la nécessaire intégration des deux stratégies », *Gestion*, vol. 29, no 2, 2004, p. 48-56.

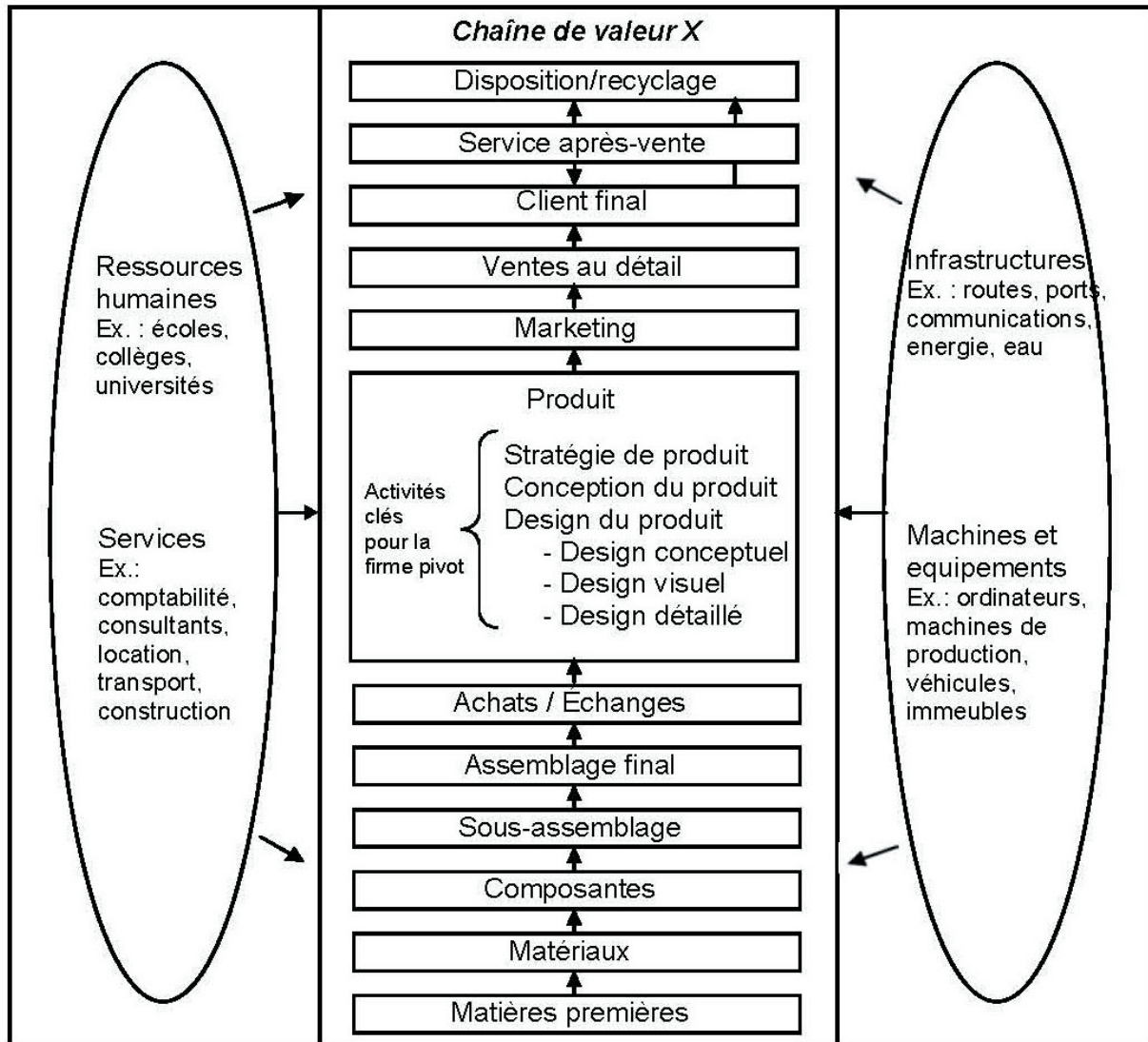
²⁹ René Gélinas et Yvon Bigras, *Les caractéristiques et les spécificités de la PME : favorables ou défavorables à l'intégration logistique?*, 2000, 20 p.

Il convient ici de clarifier certains éléments de vocabulaire³⁰. En règle générale, une entreprise déclenche le processus de production. On désigne cette entreprise sous le vocable d'entreprise « pivot » ou « donneuse d'ordres ». L'ensemble des activités (conception, fabrication, gestion des ressources humaines, marketing, etc.) menant à la production et à la livraison d'un bien est appelé une « chaîne de valeur » (*value chain*). Ce vocable met en lumière le fait que chaque opération doit normalement ajouter de la valeur au produit destiné à un consommateur final (voir figure 1.4). La « chaîne d'approvisionnement » ou « chaîne logistique » (*supply chain*) désigne l'ensemble des flux de matériaux et de composantes qui, une fois leur assemblage terminé, résulteront en un produit fini. La distinction entre « chaîne de valeur » et « chaîne d'approvisionnement » est donc assez ténue, le premier terme étant de nature conceptuelle, alors que le second est de nature plus opérationnelle. Les deux termes sont d'ailleurs souvent utilisés indistinctement dans la littérature. La « gestion de la chaîne d'approvisionnement » (*supply chain management*) désigne l'ensemble des procédures et des logiciels qui permettent d'optimiser les flux d'information et de composantes physiques entre les différents acteurs du processus de production (entreprise pivot, fournisseurs, clients, etc.). Le *Supply Chain Council*, un organisme international, a structuré ces procédures à l'intérieur d'un modèle de référence, le SCOR (*Supply Chain Operations Reference-model*).

Alors que le terme « chaîne » renvoie à la séquence plus ou moins mécanique d'événements menant à la réalisation d'un produit, le terme « réseau » désigne les liens fonctionnels qui unissent les entreprises faisant partie de la chaîne de valeur.

³⁰ Voir Timothy J. Sturgeon, « How do we define value chains and production networks? », *IDS Bulletin*, vol. 32, no 3, 2001, 11 p.; Robert J. Trent, « What everyone needs to know about SCM », *Supply Chain Management Review*, 1er mars 2004; « Supply Chain Council », *Supply-XChain Operations Reference-model*, 2005, 21 p.

Figure 1.4
La chaîne de valeur



Source : D'après Timothy J. Sturgeon, « How do we define value chains and production networks? », *IDS Bulletin*, vol. 32, no 3, 2001, 11 p.

Comme on l'a vu, l'entreprise traditionnelle qui cherche à intégrer verticalement un maximum d'opérations n'est plus toujours en mesure de répondre efficacement au nouvel environnement compétitif. La forme optimale d'organisation convenant à un produit donné, c'est-à-dire celle qui en réduira au minimum les coûts une fois les autres variables fixées, peut donc se présenter sous de multiples configurations. Cet aspect est très souvent analysé dans la littérature en référence à la théorie des coûts de transaction. De façon très schématique, cette théorie stipule que trois modes d'organisation (ou de gouvernance) sont possibles : 1) le marché, où les transactions entre firmes se font selon l'unique base du prix et sur la base d'un contrat commercial, 2) la hiérarchie (synonyme ici de firme ou d'entreprise), où les transactions se font à l'interne, sur la base d'un contrat de travail et 3) les modes hybrides entre ces deux pôles, par exemple les différentes formes de sous-traitance. Dans ces cas, l'entreprise donneuse d'ordres cède une partie de la production à des firmes extérieures, selon des modalités qui dépendent du type de service demandé et de la nature du produit manufacturé. Le tableau 1.2 illustre les différentes formes que peut prendre la sous-traitance.

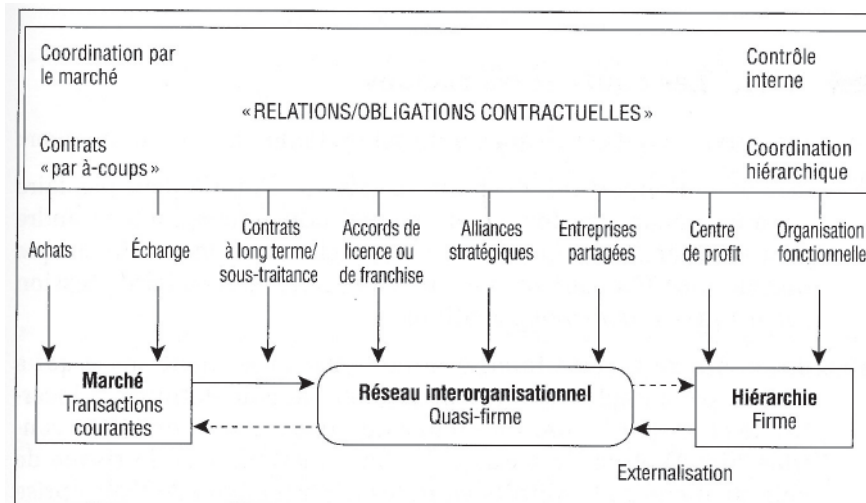
Tableau 1.2
Les différents types de sous-traitance

Sous-traitance de capacité	• Le fournisseur ne contribue pas à la définition du produit. Il se limite à suivre un devis. • Activité peu complexe, à faible valeur ajoutée. • Relation à court terme. • Le prix est l'élément déterminant du choix du fournisseur.
Sous-traitance de spécialité	• Activité de soutien ou activité stratégique. • Exigences techniques élevées à l'égard du sous-traitant. • Besoins complexes. • Le sous-traitant dispose de ressources lui permettant de concevoir en tout ou en partie le produit.
Sous-traitance d'intelligence	• Prestation intégrée de la part du sous-traitant (R-D, conception, fabrication, livraison et soutien technique).

Source : Bernard Billaudot et Pierre-André Julien, *Organisation industrielle et sous-traitance*, 2003 et Alain Halley, « Sous-traitance et chaîne logistique ou la nécessaire intégration des deux stratégies », *Gestion*, vol. 29, no 2, 2004, p. 48-56.

Le choix de l'un ou l'autre de ces modes de gouvernance se fera donc en fonction des coûts liés à une transaction donnée. Par exemple, il sera plus avantageux de se procurer une certaine composante sur le marché que d'essayer d'acquérir toutes les capacités pour la produire à l'interne. Une telle transaction peut même viser un ensemble de ressources. La compagnie Oracle a ainsi fait l'acquisition de la firme québécoise Steltor afin d'intégrer son produit, un système de gestion du temps, dans ses solutions d'affaires. Oracle évite donc de développer un nouveau produit à l'interne, économisant ainsi temps et argent. Inversement, une firme aura tendance à accroître ses capacités internes jusqu'au moment où les coûts associés au type de transaction donné seront supérieurs à celui qui est offert sur le marché. Entre ces deux modes de gouvernance se situent toutes les formes de réseautage des entreprises, lesquelles prennent une importance considérable dans le processus de mondialisation (figure 1.5).

Figure 1.5
Différentes formes d'organisation de l'activité économique



Source : Pierre-André Julien, *L'entreprise partagée. Contraintes et opportunités*, 2003.

5. Les réseaux de production et les systèmes de production locaux

Comme on l'a vu plus haut, la difficulté pour les grandes entreprises américaines d'affronter avec succès la nouvelle compétition asiatique a fait douter des principes organisationnels soutenant ces entreprises. La forte structure hiérarchique interne de ces entreprises a donc laissé la place à différentes formes d'interactions entre les entreprises par le biais de différents dispositifs contractuels comme la sous-traitance. L'ensemble de ces nouvelles relations a donné naissance au concept de « production en réseau ». Ce type d'organisation conférerait aux entreprises un avantage compétitif dans l'environnement économique actuel³¹.

Lorsque ces réseaux sont concentrés sur un territoire donné, ce qui semble être une tendance naturelle, on parle de « systèmes productifs locaux », de « districts industriels » ou de « grappes industrielles » (*clusters*)³² (voir encadré). En effet, la proximité géographique des membres du réseau permet à ces derniers de partager un bassin de main-d'œuvre et des infrastructures communes qui assurent leur compétitivité. Contrairement à la grande entreprise intégrée, le réseau aurait une plus grande capacité à reconfigurer son mode de production pour s'adapter aux conditions volatiles du marché.

³¹ OCDE, *Innovative Networks – Cooperation in National Innovation Systems*, 2001, 342 p. (p. 25).

³² Timothy J. Sturgeon, *Turn-key Production Networks : A New American Model of Industrial Organization?*, 2000, 59 p.

Plusieurs typologies des systèmes productifs locaux ont été proposées, chacune leur donnant une « saveur » régionale ou nationale qui s'inscrit dans les systèmes d'innovation nationaux. Le modèle japonais (*Kereitsu*), par exemple, est constitué de grandes entreprises qui donnent une partie importante de leur production en sous-traitance à des fournisseurs qui doivent se plier à des règles strictes en matière de qualité. Les processus de qualification peuvent d'ailleurs être assez longs. Quant au modèle italien, il se présente sous la forme d'une agglomération spatiale de petites entreprises autonomes partageant une même infrastructure sociale³³ (figure 1.6).

Les systèmes productifs locaux

Les systèmes productifs locaux font référence à une concentration d'entreprises sur un territoire donné. Il s'agit d'un concept très ancien qui remonte aux écrits d'Alfred Marshall au début du siècle dernier et qui a connu un regain d'intérêt à la suite des travaux de chercheurs italiens au sortir de la Deuxième Guerre mondiale. Un examen sommaire de l'abondante littérature disponible sur le sujet permet de compiler plusieurs appellations désignant ce concept, parmi lesquelles : district industriel, milieux innovants, technopôles ou pôles technologiques, grappes industrielles, systèmes industriels locaux, clusters, bassins industriels, etc.

La Délégation à l'aménagement du territoire et à l'action régionale (DATAR), en France, a formalisé le concept de système productif local dans le cadre d'une politique d'aménagement du territoire qui fait une large place au développement économique. La DATAR reconnaît cinq éléments communs aux différents systèmes de production locaux :

- une concentration spatiale de PME;
- des PME qui appartiennent à un secteur d'activité spécifique (spécialisation autour d'un métier, d'un produit);
- des relations interentreprises fortes (coopération/concurrence);
- l'accès à un ensemble de services marchands et non marchands;
- le partage d'une culture commune.

Derrière ces grands principes, on reconnaît un ensemble de conditions qui favorisent le partage et l'échange d'informations. Plus particulièrement, ils favorisent la circulation de l'information tacite qui nécessite le plus souvent des rencontres de type face-à-face. Ce type de savoir est favorisé par des échanges de nature sociale plutôt que purement contractuelle.

³³ *Ibid.*

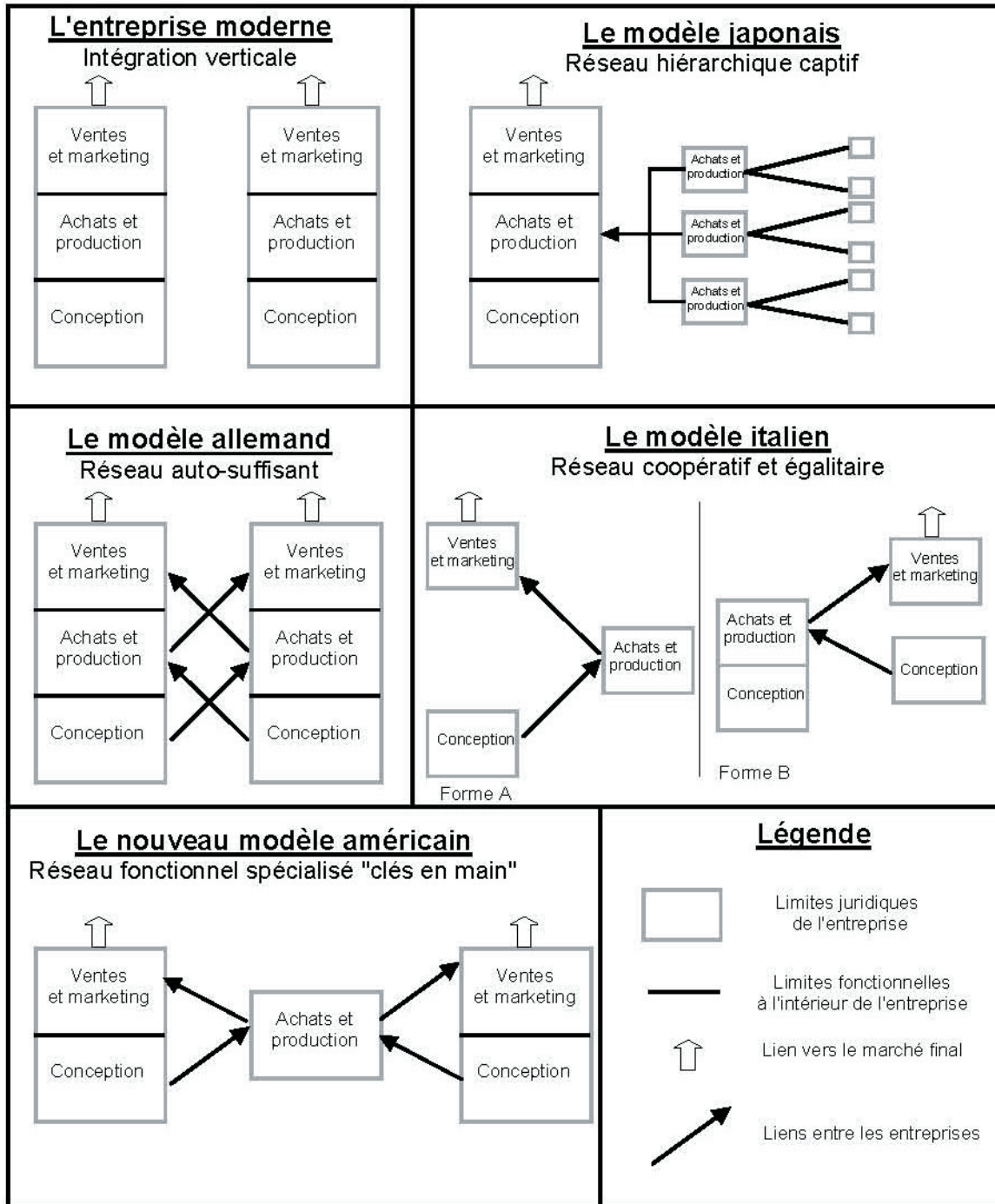
La DATAR reconnaît trois grands types de réseaux productifs locaux :

- Le district industriel. Typique d'Italie, il est constitué d'un réseau de PME à la fois concurrentes et complémentaires. Il se caractérise par une division des tâches et par la mutualisation des services. Le contexte social et la culture revêtent une grande importance. La flexibilité de ce réseau est plus grande que dans la sous-traitance traditionnelle, ce qui lui confère une grande capacité d'adaptation. Le district de la fourrure dans la région de Montréal serait un exemple québécois de ce type de réseau.
- Les systèmes organisés autour d'un ou de plusieurs grands donneurs d'ordres. Parfois nommé modèle *Hub and spoke* par les anglophones, ce réseau est généralement constitué par une grande entreprise donneuse d'ordres autour de laquelle s'agglomèrent plusieurs PME sous-traitantes de différents niveaux. La structure hiérarchique de la grande entreprise traditionnelle tend à adopter celle d'un réseau. Au Québec, le cas de Bombardier en est un exemple.
- Les pôles technologiques. Ils se développent autour de productions scientifiques souvent lancées dans de grands laboratoires publics et se caractérisent par l'essaimage d'entreprises et par une forte présence du capital de risque. Ces systèmes sont caractérisés par une forte interaction avec les centres de recherche. Le cas de l'Institut national d'optique (INO) dans la région de Québec en est un exemple.

Dans la réalité, un système de production local peut contenir plusieurs de ces types de réseaux. Chaque type de réseau peut par ailleurs évoluer vers l'une ou l'autre de ces formes.

Source : CEFRIO, *Stratégies des acteurs du développement local et régional par les TIC*, rapport préliminaire, 2003, 87 p.; Paolo Guerrieri et Carlo Pietrobelli, « Industrial districts' evolution and technological regime : Italy and Taiwan », *Technovation*, vol. 24, 2004, p. 899-914; Régis Guillaume, *Les systèmes productifs locaux en Midi-Pyrénées et au Québec : vers l'émergence de systèmes régionaux de régulation des initiatives locales?*, 2001.

Figure 1.6
Typologies nationales des systèmes de production locaux



Source : D'après Timothy J. Sturgeon, *Turn-key Production Networks : A New American Model of Industrial Organization?*, 2000, 59 p.

L'importance des ressources locales et la dimension spatiale de l'organisation de la production comme facteurs de compétitivité ont fait l'objet d'une littérature abondante. Elles prennent également une signification particulière dans le contexte de la mondialisation, où les liens qui existent entre les systèmes productifs locaux et les chaînes de valeur globales exercent une forte pression sur les économies locales et nationales. Le phénomène de la délocalisation de la production en est l'un des exemples les plus actuels (voir encadré). Les entreprises des pays en émergence se spécialisent dans les productions de biens standardisés peu complexes et intensifs en main-d'œuvre. Celles des pays industrialisés conservent les fonctions plus évoluées, axées sur les connaissances. Le secteur de production des pays avancés tend alors à migrer vers des produits à très haute valeur ajoutée et à forte intensité de savoir (produits innovants) : pharmaceutique, aérospatiale, outils de précision. Cependant, au fur et à mesure que les systèmes de production locaux des pays en émergence accumulent des connaissances sur leurs modes de production, ils tendent eux aussi à migrer vers des composantes et des produits à plus grande valeur ajoutée. Il s'établit alors un échange entre les donneurs d'ouvrage (le plus souvent des multinationales) et les grappes locales, régulé par le pouvoir de gouvernance de la chaîne³⁴. L'une des questions qui se posent aux gestionnaires publics est de comprendre comment les mécanismes de gouvernance locale peuvent permettre un meilleur positionnement des entreprises locales dans les réseaux internationaux³⁵.

Les délocalisations

La délocalisation désigne généralement l'ouverture d'une usine à l'étranger à la suite de la fermeture d'une unité de production locale. Ce terme fait également référence, par extension, au recours à la sous-traitance, donc au transfert à l'étranger d'une production qui aurait pu être assurée localement. Enfin, il arrive que la délocalisation soit invoquée dans le cas de la création d'une unité de production à l'étranger plutôt que sur le territoire local. Le terme « délocalisation » en vient donc parfois à désigner toute forme de création d'emplois qui échappe à une région ou à un territoire donné. Des fermetures d'usines locales qui ne sont plus en mesure de soutenir la concurrence étrangère sont également identifiées au même phénomène.

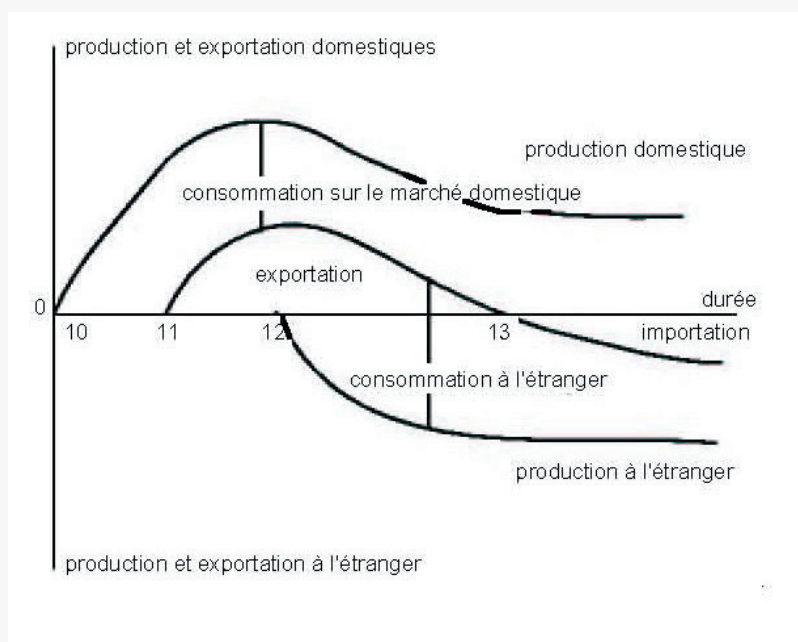
Mais la délocalisation fait partie intégrante de l'évolution normale des secteurs industriels. Certains secteurs sont plus sujets que d'autres aux délocalisations (on peut penser à l'industrie du textile par exemple). Dans certains cas, des secteurs industriels voient leur poids relatif dans une économie diminuer soit en raison de l'expansion que prennent d'autres secteurs (on peut penser ici à l'importance qu'ont prise les services dans les économies avancées), soit à cause de l'augmentation de la production mondiale, en provenance de pays émergents par exemple, dans le même secteur. Les capacités concurrentielles des pays avancés diminuent alors et l'on assiste à un processus de désindustrialisation. Les deux notions de délocalisation et de désindustrialisation, bien que distinctes, sont cependant étroitement liées.

³⁴ La combinaison de l'approche des chaînes de valeur globale avec d'autres approches plus territoriales, comme celle des districts régionaux par exemple, favorise une meilleure compréhension des mécanismes de gouvernance et de coordination qui s'établissent entre les réseaux globaux et les réseaux locaux de production. Voir à ce sujet Florence Palpacuer et Aurelio Parisotto, « Global production and local jobs : Can global enterprise networks be used as levers for local development? », *Global Networks*, vol. 3, no 2, 2003, p. 97-120.

³⁵ John Humphrey et Hubert Smits, *Governance and Upgrading : Linking Industrial Cluster and Global Value Chain Research*, 2000, 37 p.

La localisation des activités de production peut donc suivre un cycle qui reproduit le cycle de vie d'un produit (figure 1.7). D'abord conçu et fabriqué localement pour une clientèle locale, le produit tend, lorsqu'une certaine forme de standardisation apparaît, à être fabriqué à l'étranger, que ce soit pour conquérir de nouveaux marchés ou pour profiter d'économies liées le plus souvent à de bas coûts salariaux.

Figure 1.7
Délocalisation de la production et cycle de vie d'un produit



Source : Bureau fédéral du Plan, *Délocalisation, un élément de la dynamique industrielle*, Belgique, 2000, 34 p.

L'une des façons de contrer l'exode des unités de production est donc de commercialiser de façon continue de nouveaux produits. Le bassin d'entreprises local ou national est d'ailleurs en constante évolution. Plusieurs entreprises naissent, ferment leurs portes et seulement une petite fraction d'entre elles réussit à s'imposer sur le marché. Bien que le processus soit normal, le problème des fermetures d'usines et de licenciements collectifs demeure bien réel. Si ces pertes d'emplois sont compensées par la création de nouvelles industries ou par le développement du secteur des services au niveau national, il n'en reste pas moins qu'elles sont vécues difficilement par les régions qui voient leur tissu économique et social se détériorer. Le problème est donc plus territorial et social que purement économique. Souvent associé à la venue de la Chine, ce mouvement de délocalisation ira en s'amplifiant selon la plupart des sources consultées. À titre d'exemple, la masse salariale américaine délocalisée était estimée à quatre milliards de dollars en 2000, à 24 milliards en 2005 et elle pourrait atteindre 65 milliards en 2010.

Perspective plus préoccupante encore, ce phénomène n'affecte plus seulement la production industrielle de produits peu complexes, mais également certains services qui sont au cœur de l'innovation, comme la R-D ou le design. À ce chapitre, l'Inde pourrait s'avérer un concurrent encore plus dangereux que la Chine. À titre d'exemple, le principal centre de recherche et de traitement informatique indien est la région de Bangalore, qui compte plus de 150 000 ingénieurs, donc plus qu'à Silicon Valley. Le système financier et juridique indien, son système d'éducation et la familiarité de sa population avec la langue anglaise sont des atouts qui pourraient permettre à l'Inde de surpasser la croissance chinoise dans les prochaines années. Une fois la fonction production délocalisée, il existe un danger de voir les fonctions de recherche et de conception se rapprocher des nouvelles unités de production ou de voir les fabricants étrangers développer ces fonctions pour conquérir de nouveaux marchés.

Les réponses au problème des délocalisations, qui est une tendance lourde, résideraient dans l'augmentation de l'intensité capitaliste qui substitue le capital au travail, jumelée à la création continue de nouveaux produits innovants qui combinent innovation de produit et innovation de processus. Il s'agit donc de produits radicalement nouveaux qui n'ont pas encore atteint le stade de la standardisation. La constitution de réseaux de production locaux favorisant le partage et la circulation de savoirs serait également, au niveau local, la meilleure réponse aux problèmes des délocalisations.

Source : « Faut-il avoir peur des délocalisations? », *Problèmes Économiques*, no 2859, 2004; Bureau fédéral du Plan, *Délocalisation, un élément de la dynamique industrielle*, Belgique, 2000, 34 p.; Normand Roy, « Délocalisation des activités économiques, impartition et commerce international : la Chine et l'Inde volent-elles nos emplois? », *Bulletin du CETECH*, vol. 7, no 1, 2005, p. 1-8; « Outsourcing innovation », *Business Week*, 21 mars 2005.

La notion de gouvernance d'une chaîne de valeur se concrétise lorsqu'une entreprise fixe les paramètres (spécifications du produit, processus de fabrication, logistique) qui régiront l'ensemble des activités des autres entreprises de la chaîne. L'entreprise donneuse d'ordres établit en outre les mécanismes de coordination et de contrôle qui assureront la livraison des produits finis. Cette position particulière entraîne des coûts pour l'entreprise qui l'occupe.

On reconnaît généralement deux grands types de chaînes de valeur : les chaînes gouvernées par des producteurs (*producer-driven*), où les entreprises donneuses d'ordres contrôlent des produits ou des fonctions stratégiques, et les chaînes gouvernées par des acheteurs (*buyer-driven*) où les entreprises donneuses d'ordres axent leurs compétences sur la conception et la commercialisation de produits sans nécessairement posséder de capacités manufacturières. Dans les deux cas, ce sont les activités stratégiques de nature intangible, comme la conception de produits, la commercialisation ou le marketing et la logistique qui sont à la source du pouvoir de gouvernance, tandis que les activités de production proprement dite sont le plus souvent données en sous-traitance.

L'un des effets de la globalisation est qu'elle concentre la valeur des produits et le pouvoir de gouvernance dans deux types d'entreprises : chez celles qui possèdent les connaissances stratégiques associées aux fonctions élevées (conception et commercialisation) et, dans une moindre mesure, chez les intégrateurs, des entreprises qui sont en mesure d'offrir des services intégrés de production

(c'est-à-dire des capacités de conception et production, de R-D et de supervision des fournisseurs de composantes, par exemple)³⁶.

Dans ce nouveau contexte, les PME des pays industrialisés occupent une position qui peut rapidement devenir inconfortable. Elles ne disposent pas des ressources nécessaires pour occuper les échelons supérieurs des chaînes de valeur, alors que la compétition liée aux coûts, vers le bas de la chaîne, s'est fortement intensifiée. Les donneurs d'ordres sont d'ailleurs toujours à l'affût de nouveaux fournisseurs pouvant leur offrir les coûts le plus bas possible. La stratégie de production de masse destinée à des marchés locaux, relativement stables et connus, doit maintenant être révisée. Elle doit faire place à un ensemble de stratégies permettant à la PME de s'intégrer dans des chaînes de production globale, de bien connaître son environnement d'affaires, les capacités de ses compétiteurs; elle doit également rester à l'affût d'occasions d'affaires lui permettant de diversifier ses produits et de se mettre à l'abri d'une décision défavorable des donneurs d'ordres.

La position de l'entreprise dans la chaîne de valeur n'est donc plus statique et elle ne dépend plus essentiellement des coûts de production. Elle est maintenant dynamique et repose autant sur les coûts que sur des capacités de répondre à de nouvelles exigences en termes de qualité, de flexibilité ou de délais de production. La compétition des pays en émergence est beaucoup trop vigoureuse pour que les PME des pays industrialisés soient en mesure de continuer à occuper des positions inférieures dans les chaînes de valeur. Il y a donc urgence de rehausser les capacités de production.

On reconnaît généralement quatre stratégies possibles pour le rehaussement des entreprises et des systèmes productifs locaux³⁷ :

- **Une amélioration des processus de production** : recourir par exemple à l'automatisation ou à des investissements en capitaux qui permettent de réduire les coûts de main-d'œuvre;
- **Une amélioration du produit** : migrer vers une production de produits plus complexes ou à haute valeur ajoutée;
- **Une amélioration des capacités fonctionnelles de l'entreprise** : développer les actifs intangibles, le niveau de savoir et, éventuellement, abandonner certaines fonctions de production;
- **Une migration sectorielle** : utiliser les compétences acquises dans un certain type de production pour les réutiliser dans de nouveaux secteurs de production.

Les deux premières stratégies nécessitent des investissements importants et restent tributaires des décisions des donneurs d'ordres. Ces derniers n'ont pas toujours avantage à accompagner les PME dans leurs stratégies de rehaussement, simplement pour des raisons de coûts. Il est moins coûteux de trouver un autre fournisseur. Traditionnellement, au Québec comme dans l'ensemble de l'Amérique du Nord, la sélection des fournisseurs s'effectue en fonction du coût le plus bas. Les relations entre

³⁶ Florence Palpacuer et Aurelio Parisotto, « Global production and local jobs : can global enterprise networks be used as levers for local development? », *Global Networks*, vol. 3, no 2, 2003 (p. 97-120).

³⁷ John Humphrey et Hubert Schmitz, *Chain Governance and Upgrading : Taking Stock*, 2004 (p. 349-381).

donneurs d'ordres et sous-traitants se caractérisent donc par le court terme³⁸. Ces relations sont bien différentes de celles qui ont cours dans l'industrie japonaise, où le donneur d'ordres participe activement aux efforts de qualification de ses sous-traitants. En l'absence d'une telle relation, les efforts de certains sous-traitants pour répondre aux exigences des grands donneurs d'ordres peuvent être sapés lorsque ces derniers se tournent vers de plus bas soumissionnaires.

L'établissement de relations stables et à long terme entre le donneur d'ordres et le sous-traitant dépendra en partie de la nature du produit en cause dans la transaction. Plus un produit sera simple ou facilement copiable, plus il sera facile de trouver sur le marché des fournisseurs plus économiques, les barrières à l'entrée étant alors relativement faibles. En revanche, si le produit qui fait l'objet de la transaction est complexe et doté de caractéristiques techniques qui nécessitent une expertise ou un savoir particulier, créant des barrières à l'entrée élevées, cela aura pour effet de consolider la relation donneur d'ordres–sous-traitant sous forme de partenariat stratégique par exemple.

L'amélioration des capacités fonctionnelles, soit la migration vers des activités de nature intangible, reposant sur une forte intensité de savoir, se révèle un exercice encore plus difficile que le rehaussement des capacités de production en raison des ressources financières et de l'expertise nécessaires à la commercialisation de nouveaux produits³⁹.

Il s'agit là d'un choix stratégique qui demande une réorganisation importante, mais qui semble dans bien des cas incontournable. L'entreprise Louis Garneau Sports s'est engagée dans cette voie. L'Asie apparaît à son dirigeant comme une source de motivation plutôt que comme un concurrent dangereux. L'entreprise conserve la production de petits lots et de produits spécialisés, le reste étant fabriqué en Asie. L'entreprise se redéfinit autour des étapes de conception des produits. Elle envisage la mise sur pied d'un centre de création où les employés pourront aller se ressourcer. Les rencontres informelles sont multipliées de manière à favoriser un climat de création et d'innovation. L'équipe de R-D a quadruplé en cinq ans. De plus, le marketing et les communications prennent plus d'importance que la production⁴⁰.

En conclusion, un recours exclusif à l'automatisation ou à des technologies de pointe pour assurer une réduction des coûts de production des entreprises ne constitue pas en soi un gage de succès. Le coût n'est plus la seule variable dont il faut tenir compte, et la position d'une entreprise dans la chaîne de valeur peut varier rapidement en raison de la forte compétition issue de la globalisation. Il s'agit donc beaucoup plus pour une entreprise d'adopter une stratégie qui lui permettra d'occuper une position dans un système productif, ce qui lui assurera une meilleure rentabilité.

In the future, we need to rethink the concept of upgrading, and acknowledge that it must be a relational category that does not compare a company's, cluster's or location's previous practice with current practice but looks at their position vis-à-vis main competition instead⁴¹.

³⁸ Sophie D'Amours, Diane Poulin et Frédéric Allaert, *Les relations donneurs d'ordres – sous-traitants dans l'industrie aérospatiale au Québec; une étude exploratoire*, 1999, 16 p.

³⁹ *Ibid.*

⁴⁰ Jérôme Plantevin, « Innover, une question d'attitude », *Les Affaires*, 14 mai 2005, p. 28.

⁴¹ Jörg Meyer-Stamer, *Paradoxes and Ironies of Locational Policy in the New Global Economy*, 2004, p. 326-348.

L'acquisition de technologies doit donc s'inscrire à l'intérieur d'une stratégie qui considère l'ensemble des facteurs de production du marché dans lequel l'entreprise fait affaire.

Principaux constats

- On a assisté, au cours des vingt dernières années, à un changement de paradigme dans le secteur manufacturier. L'arrivée massive des technologies de l'information et la nature de la demande favorisent la commercialisation de produits personnalisés, plus complexes et de meilleure qualité. La concurrence mondiale est présente tant sur les marchés d'exportation que sur les marchés intérieurs, ce qui pousse sans cesse les coûts de production à la baisse tout en accélérant le rythme du développement de nouveaux produits.
- Il existe une très forte compétition en provenance des pays asiatiques, en particulier de la Chine. Cette nouvelle concurrence allie des coûts de main-d'œuvre très bas à l'utilisation de technologies de pointe, ce qui la distingue des vagues précédentes de nouveaux pays exportateurs. L'immense réservoir de main-d'œuvre en Chine laisse supposer que les coûts de main-d'œuvre demeureront bas assez longtemps. Pour l'instant cette concurrence se fait surtout sentir du côté des produits peu complexes destinés à des marchés de masse.
- Le secteur manufacturier des pays avancés tend à migrer vers des produits à haute valeur ajoutée et en particulier vers les étapes du processus de production axées sur le savoir, comme la conception ou la commercialisation. Une partie importante de la fabrication est cependant donnée en sous-traitance, ce qui favorise la constitution de chaînes de valeur et la spécialisation des entreprises. La recherche du meilleur coût entraîne souvent une délocalisation de la production afin de profiter des avantages des bas coûts de main-d'œuvre.
- Les PME des pays avancés occupent une place qui peut devenir rapidement inconfortable dans les chaînes de valeur de plus en plus mondialisées. Cette place ne dépend plus seulement des coûts de production, mais également de la capacité à répondre à des exigences accrues en termes de qualité, de flexibilité et de réduction des délais de production. Dans ce nouveau contexte manufacturier, la stratégie d'affaires de l'entreprise revêt une importance primordiale. Elle repose sur une bonne connaissance du milieu, des concurrents et des produits. Les fonctions de R-D, de marketing et de commercialisation occupent une place plus grande en raison de la complexité des nouveaux produits et des nouveaux modes de production en réseau, au détriment de la fonction de fabrication.
- Les systèmes productifs locaux ont une importance égale à celle de la mondialisation des marchés. Les chaînes de valeur mondialisées sont souvent constituées d'un réseau de systèmes productifs locaux. Le positionnement stratégique des entreprises au sein d'une chaîne de valeur nécessite une connaissance plus fine des marchés, des produits et des capacités des compétiteurs.

CHAPITRE 2

L'ARCHITECTURE DES PRODUITS ET DE L'ORGANISATION

1. Les composantes de la production

Selon certains auteurs, le secteur manufacturier n'est plus simplement un producteur de biens, mais se redéfinit plutôt comme un pourvoyeur de services tout au long de la durée de vie d'un produit manufacturé⁴². Poussant la réflexion plus loin, Peter Drucker en arrive à considérer que le secteur manufacturier et le secteur des services, malgré des différences majeures, utilisent les mêmes processus fondamentaux de production donnant naissance à un produit tangible, intangible ou même à un service⁴³. Les distinctions traditionnelles entre secteur manufacturier et secteur des services tendent donc à s'estomper.

Toutefois, une approche pragmatique renforce l'idée que la plupart des services trouvent leur origine dans la production d'un bien tangible ou dépendent ultimement de biens manufacturés pour leur prestation. En ce sens, le « produit » constitue l'élément fondamental de la vaste majorité des échanges économiques.

*The practical common purpose of economic actors is to make and exchange products; it is the product that embodies and thus realizes the potentialities of the resources of action. The product, in its diversity and particularity, is the strategic space of the economy of the actors*⁴⁴.

Notre revue de la littérature nous amène à considérer le développement et la production d'un produit comme le résultat de l'interaction complexe entre trois grandes composantes⁴⁵ :

1. **La conception et la fabrication du produit proprement dit.** On fait référence ici au design et à la conception du produit ainsi qu'à la façon dont celui-ci sera fabriqué. Plus un produit est complexe (ou à haute valeur ajoutée), plus son mode de fabrication nécessitera des outils performants et l'utilisation de technologies de pointe comme des machines-outils flexibles, ou des robots, et plus sa conception demandera une organisation du travail sophistiquée, qui fera appel à différentes équipes de conception, de R-D et de commercialisation appelées à travailler ensemble.
2. **L'organisation de la production (ou la gestion du processus).** Il s'agit ici de la façon dont les ressources matérielles seront utilisées pour arriver à fabriquer et à distribuer le produit. Plus un produit est complexe et comprend de multiples sous-systèmes, plus la chaîne de production et la chaîne de fournisseurs seront complexes à gérer et à optimiser (afin de satisfaire les exigences de prix, de qualité ou de gestion du « juste-à-temps »). Le recours à des outils logiciels (ERP, CRM, SCM, PLM...) devient alors nécessaire pour gérer cette complexité et leur maîtrise constitue un avantage.

⁴² Manufacturing 2020 Panel, UK Manufacturing, *We Can Make It Better*, Foresight, 2001, 20 p.

⁴³ Patricia Panchak, « The future of manufacturing », *Industry Week*, 21 septembre 1998, 7 p.

⁴⁴ Michael Storper et Robert Salais, *Worlds of Production – The Action Frameworks of the Economy*, Harvard University Press, 1997, p. 15.

⁴⁵ Voir en particulier Steven D. Eppinger et Vesa Salminen, *Patterns of Product Development Interactions*, 2001, 8 p. et Richard N. Langlois, *The Vanishing Hand : The Changing Dynamics of Industrial Capitalism*, 2002, 66 p. (p. 4).

-
3. **L'organisation du travail.** On fait référence ici à la façon d'utiliser les ressources humaines de manière à optimiser les autres facteurs de production. Les travailleurs demandent plus d'autonomie dans leur travail, et les entreprises sont de plus en plus confrontées à la nécessaire gestion des connaissances et du savoir tacite de leurs employés. Plus l'entreprise dépend des connaissances de ses employés (comme c'est le cas pour les produits à haute valeur ajoutée et pour des activités à forte intensité de savoir [conception, commercialisation, support technique...]), plus l'organisation du travail (la gestion des ressources humaines, le fonctionnement des équipes de travail, les modes de rétribution, les horaires...) aura une influence sur les résultats de l'entreprise.

Selon les auteurs et leurs disciplines, les frontières entre ces trois composantes sont plus ou moins faciles à dessiner. Ainsi la technologie et l'ingénierie jouent-elles un rôle prépondérant dans la première composante, alors que le management et les technologies de l'information font de même dans la deuxième. Les rapports sociaux propres à une nation ou à une culture, ou même à un secteur industriel donné, s'incarnent le plus souvent dans un ensemble de conventions et d'institutions qui définissent la troisième composante. Ces trois composantes font l'objet de vastes travaux de recherche adoptant différentes approches et soutenus par diverses théories. Cependant, la plupart des travaux restent cantonnés dans leurs champs de compétence respectifs et la synergie est faible entre les trois grands domaines que nous avons décrits. Les études portant sur les institutions, les relations de travail ou la théorie de l'entreprise accordent généralement peu d'espace aux contraintes et aux changements technologiques, alors que les études sur les technologies de production manufacturières ignorent le plus souvent l'environnement socioéconomique de l'entreprise. Ainsi :

There is useful detailed knowledge in engineering and organizational literature, but in both cases it is one-sided. Engineering design methodologies describe product architecture in great technical detail, yet do not explicitly link these to the consequences for coordination during a design process. Alternatively, organizationally oriented studies clearly represent and address the issue of system-level coordination, but do not reflect the underlying product architecture⁴⁶.

Or, comme nous l'avons entrevu un peu plus haut, il existe des liens intrinsèques entre le mode d'organisation du travail et la nature du produit fabriqué. Ainsi, le mode de production fordiste a engendré un type d'organisation manufacturière (et même sociale) qui répondait, à une époque donnée, à l'équation économique de la valeur : comment produire au meilleur coût. L'augmentation de la complexité des nouveaux produits et la nature changeante de la demande modifient maintenant la donne économique et demandent un nouveau type d'organisation permettant de mieux répondre à ces nouvelles conditions⁴⁷.

Dans cette section, nous nous arrêterons principalement à l'examen de la première composante de la production, en plaçant le produit au centre des échanges entre l'entreprise manufacturière et son milieu. Nous essaierons d'abord de voir dans quelle mesure l'architecture d'un produit vient

⁴⁶ Bas Oosterman, *Improving Product Development Projects by Matching Product Architecture and Organization*, 2001, 158 p. (p. 5).

⁴⁷ Dans le cadre de l'analyse des organisations, les théories de la contingence stipulent que la forme organisationnelle doit s'adapter à l'environnement de production et qu'il n'existe pas de forme idéale. Toutefois, les conditions favorables à une telle adéquation ou au passage d'une forme d'organisation à une autre restent peu documentées (voir Alice Lam, « Organizational Innovation », dans *Oxford Handbook of Innovation*, p. 122).

conditionner le type d'organisation nécessaire à sa réalisation. Nous verrons ensuite dans le prochain chapitre de quelle façon les nouvelles technologies de fabrication de pointe viennent modifier les modes de production, notamment en augmentant la compétitivité et la productivité des entreprises. Notre objectif est de déterminer quelles sont les conditions qui permettent l'introduction réussie de ces nouvelles technologies dans l'entreprise.

2. Architecture du produit et architecture de l'organisation

Ainsi qu'il a été dit plus haut, le développement de nouveaux produits innovants apparaît comme un impératif pour les entreprises qui désirent affronter les contraintes liées à la mondialisation des marchés. Ces produits incorporent de plus en plus de technologies et de fonctionnalités nouvelles et leur rythme d'introduction sur le marché s'accélère. L'innovation devient un critère de compétitivité plus important que la productivité des facteurs de production.

Cette fonction « innovation », au sein de l'entreprise, n'est pas considérée ici comme une fin en soi, qui s'incarnerait uniquement dans un nouveau produit ou dans un produit amélioré (base de la distinction entre entreprise innovante et non innovante dans plusieurs enquêtes). Elle renvoie plutôt à la fonction de gestion qui cherche à optimiser les interactions entre les différents processus qui, au sein de l'entreprise, conduisent à la création de valeur (sous forme d'un produit, dans le secteur manufacturier) : conception, fabrication, commercialisation, livraison, maintenance, disposition⁴⁸.

Le Conseil a bâti un modèle de l'innovation qui place l'entreprise au cœur du processus d'innovation⁴⁹. Ce modèle est dans une très large mesure basé sur le processus de production du secteur manufacturier. Selon Hobday⁵⁰, une caractéristique rarement évoquée de ce type de modèle est qu'il repose sur le paradigme de production de masse. Un changement de paradigme de production devrait donc entraîner des modifications dans la nature des activités de l'entreprise (acquisition de technologies par exemple) et des institutions qui forment l'environnement immédiat et global de l'entreprise.

C'est dans l'étude de la production de biens complexes que les liens entre l'architecture du produit et l'architecture de l'organisation ont été le plus approfondis. La production de ces biens entraîne une fragmentation de la chaîne de valeur suivant le processus décrit plus haut.

Toujours selon Hobday, quatre grandes caractéristiques des produits « complexes » distinguent suffisamment les industries qui les produisent pour nécessiter une révision du modèle de l'innovation :

- Coût des produits extrêmement élevé et durée de vie très longue; produits complexes fortement hiérarchisés, c'est-à-dire composé de systèmes, sous-systèmes et composantes;
- Propriétés émergentes imprévisibles en raison de la complexité du produit;

⁴⁸ Vincent Boily, *L'ingénierie de l'innovation*, Hermès-Science, Lavoisier, 2004, 188 p. (p. 64).

⁴⁹ En annexe.

⁵⁰ Mike Hobday, *Product Complexity, Innovation and Industrial Organisation*, SPRU, 1998, 37 p.

-
- Présence de multiples entreprises et équipes de travail (on pourrait ajouter dans une logique de gestion de projet);
 - Grande implication du client, notamment dans la détermination de ses besoins.

Parmi les biens qualifiés de complexes, on trouve par exemple :

- Aérospatiale
- Navires
- Bâtiments
- Plateforme de forage
- Équipement robotique
- Sous-marins
- Réseaux de télécommunications

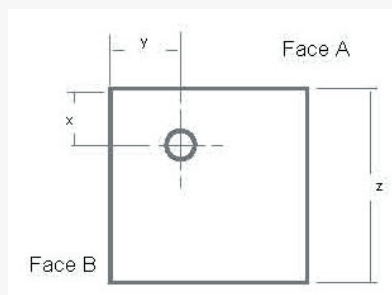
Une partie substantielle de la production de ces biens est allouée maintenant au développement logiciel, et la majeure partie des sous-systèmes qui les composent fait l'objet de contrats de sous-traitance accordés à des firmes spécialisées.

La notion de complexité a fait l'objet de plusieurs publications depuis quelques années. Dans un contexte de production manufacturière, toutefois, le recours à des définitions trop théoriques ne permet pas une mesure opérationnelle du phénomène. Le produit manufacturé complexe est généralement identifié à un système et les deux termes sont considérés comme des synonymes. Un produit est composé de sous-systèmes et de composantes, et les propriétés des systèmes deviennent les propriétés du produit. La figure 2.1 propose un cadre conceptuel qui rend opérationnelle, en quelque sorte, la notion de complexité appliquée au produit manufacturé. Deux remarques apparaissent importantes dans ce cas : 1) la notion de complexité est avant tout liée à la difficulté de représenter la réalité dans un langage donné (par exemple la représentation d'un système complexe à l'aide d'un outil de conception assistée par ordinateur [CAO]), bien plus qu'elle n'est une caractéristique fondamentale de la réalité elle-même (voir encadré); 2) certaines composantes de produits complexes peuvent montrer des comportements différents lorsqu'elles sont intégrées au produit final ou même présenter des comportements imprévisibles à l'étape de la conception. On parle alors d'une propriété émergente du système.

On utilise souvent le nombre de pièces comme une mesure approximative de la complexité d'un produit. Bien que réductrice, cette approche a toutefois l'avantage d'être plus facile à documenter en utilisant notamment la nomenclature des composantes (*bill of materials*). Cependant, le véritable défi que pose la complexité réside dans les nombreuses interactions possibles, connues et imprévisibles, entre les différentes composantes des produits complexes. La détection de ces interactions, aux étapes de la conception, de la fabrication ou de l'utilisation d'un produit, nécessite un savoir-faire et une expérience que peu d'ingénieurs ou de techniciens sont en mesure d'acquérir. Le savoir tacite prend ici une importance majeure.

Complexité et langage

Une opération très simple, comme celle de percer un trou dans une pièce métallique, est à la portée de n'importe quel technicien qualifié, qui saura résoudre ce problème sans même y réfléchir en faisant appel à son expérience et à l'ensemble de ses connaissances tacites. Toutefois, pour que la même opération soit reproduite par une machine, il faudra traduire l'ensemble des opérations nécessaires dans un algorithme relativement complexe. Un examen des décisions qu'un technicien doit prendre pour exécuter cette tâche permet d'apprécier la complexité de sa représentation algorithmique. Cet exemple illustre que la complexité ne réside pas dans la tâche elle-même, mais dans sa représentation dans un nouveau langage.



1. Choisir l'outil de découpage convenable.
2. Fixer l'outil dans l'axe de la perceuse.
3. Serrer l'outil.
4. Choisir la pièce à percer.
5. Fixer la pièce.
6. Mesurer une distance « y » suivant la face A de la pièce.
7. Déterminer la position de la pièce en fonction de la mesure.
8. Déterminer la direction du mouvement de la pièce.
9. Déplacer la pièce en mesurant sa progression sur des repères gradués.
10. Maintenir le plateau en position.
11. Mesurer une distance « x » suivant la face B de la pièce.
12. Déterminer la position de la pièce en fonction de la mesure.
13. Déterminer la direction du mouvement de la pièce.
14. Déplacer la pièce en mesurant sa progression sur des repères gradués.
15. Maintenir le plateau en position.
16. Choisir une vitesse de rotation.
17. Déterminer la direction de rotation de l'axe.
18. Choisir une vitesse de forage.
19. Mettre le moteur en marche.
20. Mettre en marche le refroidisseur.
21. Percer le trou.
22. Retirer l'axe.
23. Fermer le refroidisseur.
24. Fermer le moteur.
25. Retirer la pièce.
26. Vérifier l'état du travail.

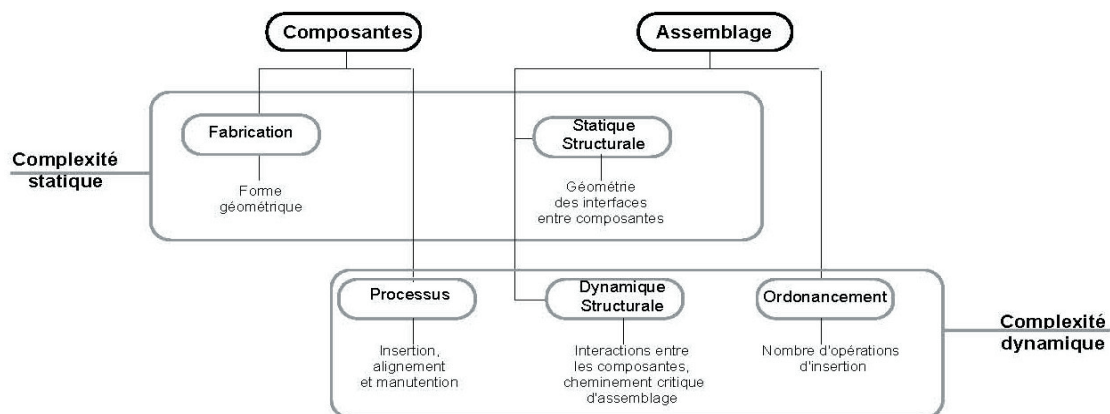
Complexité et langage (suite)

Le même scénario se reproduira pour d'autres machines simples. Dans le cas où plusieurs fournisseurs traduisent ces opérations dans des algorithmes propriétaires différents, on assistera en plus à de possibles difficultés de communication entre les machines.

Dans cet exemple, la machine reproduit en un savoir explicite un ensemble de connaissances tacites acquises par l'apprentissage du métier. Ce sont des connaissances simples, assez facilement reproductibles. Dans les cas d'opérations plus complexes, la modélisation du savoir sera beaucoup plus ardue. On peut alors concevoir que des applications systémiques visant à intégrer en temps réel l'ensemble des opérations de haut niveau d'une entreprise (gestion de l'ensemble des machines, des fournisseurs de composants, des ressources humaines et des commandes des clients) nécessitera des investissements extrêmement importants et mobilisera une somme de ressources considérable.

Source : Thomas Crandell, *CNC Machining and Programming : An Introduction*, 2003, 544 p.

Figure 2.1
La complexité des produits manufacturés



Source : Adapté de Carlos Rodriguez-Toro, Graham Jared et Kenneth Swift, *Product-development Complexity Metrics : A Framework for Proactive-DFA Implementation*, 2004, p. 483-490.

L'architecture d'un produit se définit « comme la manière dont les éléments fonctionnels du produit sont reliés à ses composantes physiques⁵¹ ». On distingue deux grands types d'architecture : l'architecture modulaire et l'architecture intégrale. Lorsqu'une fonctionnalité correspond exactement à une composante physique, l'architecture est dite modulaire. Lorsque la relation entre les fonctionnalités et les composantes n'est pas univoque (si une composante réalise plusieurs fonctions ou si plusieurs composantes réalisent une seule fonction), l'architecture est dite intégrale. Les liens entre les composantes sont réalisés par l'intermédiaire d'interfaces.

Dans une architecture modulaire parfaite, chaque composante s'adapte au produit fini par l'entremise d'interfaces standardisées. Dans une architecture intégrale, en revanche, les liens entre les composantes sont moins standardisés, et il est impossible de déplacer une composante sans perte de fonctionnalité ou sans révision de l'ensemble de l'architecture du produit⁵².

Dans la conception d'une automobile, la radio est un exemple d'une architecture modulaire. On peut en choisir le modèle à partir d'une gamme de fournisseurs différents et son remplacement n'affecte pas le fonctionnement des autres systèmes. La conception de la roue en revanche est représentative d'une architecture intégrale. Ainsi, le diamètre de la roue ne saurait être modifié sans que cela ait un impact sur les systèmes de freinage, sur la stabilité et l'aérodynamisme de l'automobile ou sur sa vitesse maximale⁵³.

Les ordinateurs personnels sont également un bon exemple d'architecture modulaire. Les différents composants, disques durs, moniteurs et puces de mémoire, peuvent être interchangeables sans qu'il soit nécessaire de repenser l'ensemble du produit. La compagnie Dell a d'ailleurs su utiliser cette particularité pour mettre sur pied un service de livraison d'ordinateurs personnalisés, qui est devenu un exemple typique de personnalisation de masse.

Ces deux types d'architecture représentent en fait les pôles théoriques d'un large spectre d'architectures possibles. Dans la réalité, les produits manufacturés présentent des architectures hybrides entre ces deux extrêmes. Certaines composantes modulaires peuvent même avoir une architecture interne intégrale, invisible dans le produit final. Une importante littérature s'est développée autour du concept d'architecture de produit, et le vocabulaire utilisé est en constante évolution avec l'apparition de notions telles que « intégralité externe », « plate-forme » ou « complexité de l'architecture ». Selon que les auteurs font référence à l'ingénierie du produit ou à la gestion de la production, les points de vue peuvent parfois différer, rendant le concept un peu flou⁵⁴.

Ce qu'il convient de retenir pour notre propos est le lien établi par plusieurs auteurs entre le choix d'une architecture de produit et le type d'organisation ou de réseau qui assurera sa production. L'architecture modulaire, en particulier, sur laquelle porte un grand nombre de publications, influence non seulement les formes organisationnelles, mais également le type de compétences et de savoirs nécessaires aux entreprises pour respecter le rythme accéléré d'introduction de nouveaux produits.

⁵¹ Florent Catel et Jean-Charles Monaté, *op. cit.*

⁵² *Ibid.*

⁵³ François Fourcade et Christophe Midler, *La modularisation automobile : enjeux et conditions de mise en œuvre pour les équipementiers de rang 1*, Onzième rencontre internationale du Gerpisa, 11-13 juin 2003.

⁵⁴ Moreno Muffato et Marco Roveda, « Product architectures and platforms : a conceptual framework », *International Journal of Technology Management*, 2002, vol. 24, no 1.

Le choix de l'architecture du produit, au moment de sa conception, aura donc une influence non seulement sur son mode de fabrication, mais également sur le mode d'organisation qui sera nécessaire à sa réalisation. Plus l'architecture sera modulaire, plus il sera possible de décomposer le travail et de le confier à des équipes autonomes ou de faire appel à des firmes externes spécialisées dans la production de telle ou telle composante. La complexité des produits allant en s'accroissant, leur décomposition en modules permet de réduire la complexité des tâches d'organisation de la production sans trop hypothéquer la performance du produit final. Il s'établit donc une hiérarchie entre les firmes qui calque en quelque sorte l'architecture du produit manufacturé. Il s'ensuit une désintégration verticale des grandes entreprises au profit d'une chaîne de valeur complexe dont la gouvernance est assurée, de manière générale, par la firme conceptrice. Plus une architecture est modulaire, toutefois, moins le contrôle sera possible, la standardisation associée aux composantes permettant une plus grande liberté à la fois des fournisseurs et des compétiteurs. Cette décomposition influera aussi largement sur le type de compétences nécessaires à une firme pour acquérir, conserver ou modifier la position que celle-ci occupe dans la chaîne de valeur. La gestion des travailleurs et de leur savoir prend une nouvelle dimension.

L'industrie de la bicyclette⁵⁵ illustre les liens qui existent entre le degré de modularité d'un produit et la structure de l'industrie qui le fabrique. L'architecture de base d'une bicyclette n'a pas beaucoup changé depuis une centaine d'années. Les interfaces entre les différentes composantes sont très standardisées, ce qui permet de remplacer chaque composante par celle qui est proposée par un autre fournisseur. Cette modularisation a entraîné une fragmentation de l'industrie. Celle-ci se compose de différents segments, responsables de la production des sous-systèmes composant le produit fini : pneus, composants mécaniques mobiles (freins, dérailleurs...), composants fixes (siège, guidons), châssis. Les entreprises qui manufacturent cette dernière composante, qui confère au produit final son design, sont en règle générale responsables de l'assemblage final.

Les différents segments communiquent peu entre eux, ce qui mène à une certaine inertie dans le développement de nouvelles architectures. La compétition s'organise naturellement au niveau du prix des composantes. Aucune entreprise ne domine le marché de manière assez nette pour être en mesure d'imposer un nouveau standard susceptible d'entraîner l'ensemble des autres fournisseurs de composantes dans une modification radicale de leur production.

En revanche, dans le créneau de la compétition sportive où les critères de performance l'emportent sur les coûts, le mode de fonctionnement de l'industrie est tout à fait différent. Le réseautage et la transmission de savoirs tacites lors de compétitions de haut niveau permettent l'introduction de nouvelles technologies et de nouvelles conceptions. Cette niche est cependant trop spécialisée pour influencer l'ensemble de l'industrie.

La modularité d'un produit est généralement associée à :

- une réduction des besoins de coordination de l'ensemble de la chaîne, dans la mesure où cette coordination se fait de manière implicite au niveau des interfaces;

⁵⁵ Peter Galvin et André Morkel, « The effect of product modularity on industry structure : The case of the world bicycle industry », *Industry and Innovation*, vol. 8, no 1, 2001, p. 31-47.

-
- une dispersion géographique des fournisseurs, l'échange d'information tacite étant réduit à son minimum;
 - la faiblesse des barrières à l'entrée.

En contrepartie, une architecture intégrale verra la firme conceptrice, celle qui détient les connaissances requises pour coordonner l'ensemble des opérations d'assemblage final, occuper une position dominante dans l'ensemble de la chaîne de valeur. Les compétences nécessaires pour occuper cette position constituent une barrière à l'entrée majeure pour les concurrents.

Tout comme la personnalisation des produits, cependant, la modularisation de la production comporte certaines limites⁵⁶. Plus un produit est complexe, composé de plusieurs sous-systèmes et comprenant des composantes mécaniques, moins sa modularisation sera possible. En effet, l'une des caractéristiques des composantes de ce type de produit (automobiles, avions, appareils électromécaniques, etc.) est qu'elles remplissent plusieurs fonctions simultanément (stockage et transfert d'énergie, support physique de la structure, sécurité...). Le comportement de ces composantes peut aussi différer, lorsqu'elles sont intégrées dans le produit fini, du comportement observé lors de tests en isolation. En conséquence, ce type de produit aura tendance à adopter une architecture plus intégrale. L'effort de design sera donc plus grand en raison des problèmes d'ingénierie complexes à résoudre, et la réalisation finale nécessite plusieurs étapes de tests et de prototypage, ce qui entraîne des coûts plus élevés. La structure industrielle s'en trouvera donc modifiée. Les relations entre les donneurs d'ordres et les fournisseurs nécessiteront beaucoup plus d'échanges informels permettant de préciser les nombreux détails techniques, tant sur le plan du design que de la fabrication et de l'utilisation. Le recours exclusif à des technologies de l'information ne suffit pas toujours dans ces cas pour décrire de façon satisfaisante la réalité de la production. Ces technologies ne sont en effet pas en mesure d'exercer un transfert efficace des savoirs tacites.

En ce sens, un produit complexe incorpore un certain nombre de savoirs. La façon dont ce produit sera conçu et fabriqué est le résultat d'un processus complexe d'échange de savoirs explicites et de savoirs tacites entre les différents acteurs de la chaîne de valeur. Plus le produit sera complexe, plus il sera difficile pour une entreprise de maîtriser l'ensemble des connaissances nécessaires à la production de chacune de ses composantes tout en conservant une position dominante sur le marché. Il s'ensuit une spécialisation des entreprises et l'émergence de réseaux d'entreprises qui doivent se coordonner entre elles pour assurer la réalisation finale du produit.

Le savoir nécessaire à la fabrication des produits complexes est donc distribué dans un ensemble d'entreprises constituant le réseau. L'innovation, comme la production, sera donc également, et à plus forte raison, dépendante de la fluidité des échanges de savoirs dans le réseau de production. Cette fluidité, qui réduit au minimum le coût des échanges d'informations tacites, sera favorisée par un certain nombre de conditions : un langage commun, une proximité géographique, une culture commune, une confiance entre les partenaires, des institutions communes, etc.⁵⁷

⁵⁶ Daniel E. Whitney, *Physical Limits to Modularity*, 2002, 23 p. [<http://esd.mit.edu/symposium/pdfs/papers/whitney.pdf>].

⁵⁷ Muge Ozman, *Dynamics of Network Industries : The Role of Breadth and Depth of the Knowledge Base*, MERIT, 2003.

Toutefois, la mise sur pied de tels réseaux ne peut se faire de façon artificielle. Le réseau constituerait plutôt, en quelque sorte, une propriété émergente de l'interaction entre une technologie, un marché et un réseau social et institutionnel. Il prendra donc diverses formes et adoptera différents modes de coordination suivant l'industrie ou le produit considéré. C'est l'une des raisons pour lesquelles il semble difficile de le recréer. Le réseau ne résulte pas de l'application d'une forme de conception initiale. Il émerge plutôt en réponse aux exigences d'un certain type de production. Et, en particulier, il faut que le réseau puisse apporter une forme de valeur ajoutée qui sera partagée par l'ensemble des entreprises qui le composent. Il dépasse donc de loin les simples relations d'échange d'information entre les entreprises⁵⁸.

Ce n'est donc pas la simple mise en réseau des entreprises qui favorise spontanément la création de savoirs, mais plutôt la participation active à la réalisation d'un produit complexe. Celle-ci nécessite la mobilisation de différents acteurs, chacun apportant une spécialité ou un savoir particulier dont la nature dépendra de la position occupée dans la chaîne de valeur. La constitution d'un réseau apparaît donc comme l'une des meilleures réponses possibles à l'organisation de la production de biens complexes⁵⁹.

3. Le développement de produits

Comme on l'a vu plus tôt, le rythme de développement et d'introduction de nouveaux produits s'accélère sous la pression d'une compétition de plus en plus dure. Les risques de voir un produit copié par un compétiteur, surtout en l'absence de l'acquisition de droits de propriété intellectuelle, sont de plus en plus grands.

Il y a donc une pression supplémentaire pour renouveler les produits existants en leur incorporant de nouvelles caractéristiques ou fonctionnalités qui les distingueront des produits des compétiteurs.

En particulier, l'incorporation de plusieurs fonctionnalités dans une seule composante, permettant ainsi de réduire la complexité globale d'un produit, est une source de gains importants et confère à l'entreprise un avantage compétitif certain. Une telle réussite implique une connaissance approfondie de l'architecture globale d'un produit et, par conséquent, des compétences qui dépassent bien souvent celles qui sont strictement nécessaires à la conception d'une seule composante ou d'un seul produit.

Le « développement de produit » est une stratégie d'affaires qui s'est imposée depuis quelques années comme l'une des plus efficaces pour affronter les nouvelles conditions de marché imposées aux entreprises et pour faciliter le processus d'innovation⁶⁰. Cette stratégie ne vise pas uniquement à lancer de nouveaux produits sur le marché, mais bien à structurer le processus de développement de manière à permettre aux entreprises de conserver une avance technologique sur leurs compétiteurs.

⁵⁸ Bruce Kogut, « The network as knowledge : Generative rules and the emergence of structure », *Strategic Management Journal*, 2000, vol. 21, p. 400-425.

⁵⁹ La complexité peut également s'exprimer à une étape ultérieure du processus de production. Certains produits en apparence simples (on peut penser à des produits agroalimentaire ou à ceux de l'industrie de l'habillement) nécessitent une expertise en marketing, distribution et commercialisation qui peut rapidement devenir très complexe, surtout si ces produits sont destinés à un marché international.

⁶⁰ Pierre Riopel, Nicole Dionne et Louise St-Pierre, *Innovation et développement de produits. Le cas des entreprises québécoises de fabrication de produits*, ministère du Développement économique et régional et de la recherche (MDERR), 2004, 36 p.

La difficulté de gérer ce processus devient une barrière à l'entrée majeure pour les compétiteurs qui, en l'absence de capacités d'innovation, devront se contenter de reproduire des solutions ou des designs qui deviendront rapidement périmés. L'entreprise innovante qui maîtrise le processus de développement de produits a donc toujours, en quelque sorte, « un produit d'avance » sur ses compétiteurs.

L'une des premières pratiques reconnues en développement de produits est l'ingénierie simultanée. Cette pratique permet de prévoir et de prendre en considération les besoins de la clientèle dès l'étape de conception des produits. Elle nécessite la mise en commun des savoirs et des expertises d'un ensemble d'acteurs provenant de la conception, de la production et du marketing. Il s'agit d'un bel exemple de gestion des connaissances et de circulation du savoir. Cette pratique se distingue nettement du processus traditionnel de développement séquentiel où les différents services de l'entreprise travaillaient en silo, les possibilités d'échange de connaissances étant souvent très réduites.

Trois grands principes émergent de la littérature sur le développement de produits⁶¹ :

- L'importance de la connaissance des besoins du client;
- L'importance d'une gestion découplée des savoirs de l'entreprise;
- L'importance des capacités technologiques internes de l'entreprise, de manière à pouvoir assimiler le savoir externe.

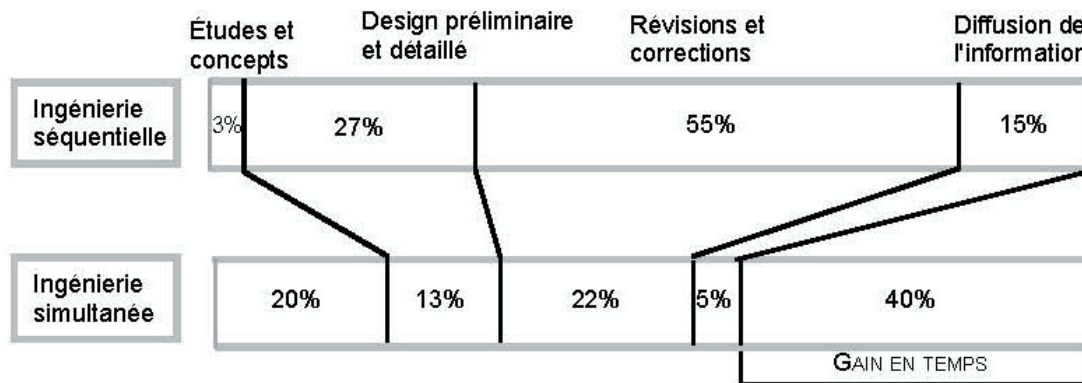
Par ailleurs, la stratégie de développement de produit ne se limite pas à un seul produit. Elle peut en effet couvrir une famille de produits, ce qui permet le recyclage de certaines solutions de design ou de conception. On parle alors d'une stratégie de développement d'une plate-forme. Dans le secteur automobile, par exemple, Volkswagen produit plusieurs modèles différents à partir d'un ensemble fini de composantes⁶².

La figure 2.2 illustre les avantages liés au recours à l'ingénierie simultanée dans une stratégie de développement de produits. Comme on le voit, l'effort supplémentaire accordé à la conception est largement récupéré dans les phases de révision et de correction.

⁶¹ P. Nightingale, « The-product-process-organisation relationship in complex development projects », *Research Policy*, vol. 29, no 7-8, p. 913-930.

⁶² Voir Olivier L. De Veck et Eun Suk Suh, *Product Family and Platform Portfolio Optimization*, Proceedings of DETC'03 2003 ASME Design Engineering Technical Conferences, 2-6 septembre 2003, Chicago, Ill.

Figure 2.2
Impact d'un processus structuré de développement de produits



Source : Institut de développement de produits, cité dans Pierre Riopel, *Innovation et développement de produits. Le cas des entreprises québécoises de fabrication*, MDERR, 2004, 36 p.

L'Institut de développement de produits définit les cinq meilleures pratiques d'affaires en développement de produits⁶³ :

- Définition des besoins-clients, soit la connaissance des besoins et des attentes des clients;
- Gestion de projet;
- Équipe multifonctionnelle : formée de représentants des différentes fonctions de l'entreprise. L'ingénierie simultanée en est un exemple;
- Processus de développement de produits : carte routière définissant les étapes de réalisation d'un produit, de la genèse de l'idée à son lancement;
- Gestion du portefeuille de produits : qui permet la sélection des projets les plus porteurs.

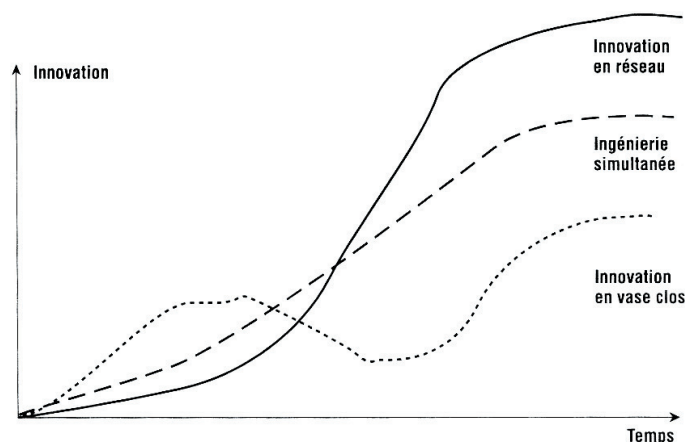
Clairement, toutes ces pratiques sont fondées sur le partage de l'information et des connaissances distribuées dans l'ensemble des départements de l'entreprise. Suivant les théories de l'entreprise basées sur le savoir, une entreprise constitue elle-même une forme de réseau formé d'individus. L'entreprise est considérée comme un groupe social qui favorise les échanges d'information entre ses

⁶³ Voir Pierre Riopel *et al.*, *op. cit.*

membres, ce qui se traduit entre autres choses par un aplatissement de la structure hiérarchique et par la participation de tous les employés au processus d'amélioration des produits et processus. Le rôle de la direction est de favoriser la création et la circulation du savoir dans l'entreprise.

Les avantages du recours à l'ingénierie simultanée au niveau de l'entreprise sont également reconduits au niveau du réseau de production. L'apport des partenaires, comme des sous-traitants par exemple, accélère le rythme de l'innovation, ainsi que l'illustre la figure 2.2. Au début, une phase de concertation et de développement d'un langage commun entre les différents acteurs ralentit le processus d'innovation. Celui-ci s'intensifie par la suite en raison de la multiplication des idées, expériences, connaissances et savoir-faire présents dans le réseau.

Figure 2.3
Effets de l'intégration de partenaires externes sur le processus l'innovation



Source : Pierre-André Julien, *Entrepreneuriat régional et économie de la connaissance*, Presses de l'Université du Québec, 2005, 395 p.

Le développement de nouveaux produits constitue donc un des lieux privilégiés pour la création de nouvelles connaissances et la transmission du savoir au sein d'une entreprise⁶⁴. Depuis le début des années 1990 le concept de développement de produits a progressivement évolué vers les concepts de gestion du cycle de vie du produit (*Product Lifecycle Management* ou PLM) et d'innovation continue de produit (*Continuous Product Innovation* ou CPI). Ces concepts permettent d'englober toutes les étapes du cycle de vie d'un produit, depuis sa conception jusqu'à son retrait. Les étapes d'amélioration du produit existant, de personnalisation des ventes et de l'installation ainsi que les améliorations aux produits en cours d'usage font partie intégrante de la gestion du produit⁶⁵.

⁶⁴ Ikujiro Nonaka et Hirotaka Takeuchi, *La connaissance créatrice*, De Boeck, 1997.

⁶⁵ Voir Ross Chapman et Paul Hyland, « Complexity and learning behaviors in product innovation », *Technovation*, vol. 24, p. 553-561 et CIMdata, *PDM to PLM : Growth of an Industry*, 2003.

Cette nouvelle perspective permet de passer de la gestion d'un produit à la gestion du processus de création et de diffusion de savoir menant à la réalisation d'un produit. Le produit représente donc la concrétisation d'un état de connaissances et de savoirs plutôt qu'une fin en soi. Il faut par conséquent le concevoir de manière à permettre son amélioration à la suite de l'addition de nouveaux savoirs au sein de l'entreprise. Cette nouvelle manière de voir le développement de produit permet d'établir un lien entre la gestion du savoir au sein d'une entreprise et la réalisation concrète de son principal extrant, un produit manufacturé.

Dès lors qu'elles abandonnent la production de masse et la production de produits peu complexes où la compétition est de plus en plus difficile à soutenir, les entreprises entrent de plain-pied dans le domaine de la complexité. Cette complexité se retrouve tant au niveau du produit fini qu'au niveau de sa conception, de son mode de fabrication ou de sa commercialisation. Les besoins en création, partage et diffusion des connaissances augmentent. Même l'acquisition de nouvelles technologies qui incorporent un certain nombre de savoirs s'accompagne de l'acquisition de compétences techniques, laquelle permet de sélectionner ces technologies en concordance avec les stratégies d'affaires de l'entreprise, ainsi que d'un rehaussement nécessaire des compétences des employés appelés à les opérer. L'entreprise doit se tourner vers de nouvelles pratiques de gestion du savoir pour être en mesure de répondre à ces nouvelles conditions. On emploie souvent le vocable « organisations apprenantes » pour décrire ces entreprises qui misent principalement sur divers mécanismes et pratiques de gestion du savoir pour répondre aux conditions changeantes imposées par le marché. Les pressions induites par la gestion de la complexité deviennent une réalité que l'entreprise doit affronter sur une base quotidienne si elle veut prospérer.

4. Les différents modes de production manufacturière

Qu'il s'agisse de production de masse ou de personnalisation de masse, d'un produit à architecture modulaire ou intégrale, la plupart des produits manufacturés se situent entre ces deux pôles qui reflètent deux grands principes sous-jacents à toute production industrielle : la spécialisation et la standardisation⁶⁶. Dans le premier cas, le produit incorpore le savoir et les compétences de ceux qui le produisent (un artisan ou une équipe de travail), alors que dans le second cas le produit est épuré de toute particularité individuelle. Le passage d'un type de production à l'autre se fait donc au prix d'une gestion accrue des savoirs et des connaissances des travailleurs.

Alors qu'à l'ère industrielle, les travailleurs des industries taylorisées ne devenaient opérationnels qu'en étant dépouillés des savoirs, des habiletés et des habitudes développées par la culture du quotidien, les travailleurs de l'ère informationnelle mobilisent un bagage culturel au moins partiellement acquis en dehors de leurs activités de travail⁶⁷.

⁶⁶ Michael Storper et Robert Salais, *Worlds of Production – The Action Frameworks of the Economy*, Harvard University Press, 1997, p. 30.

⁶⁷ Nicolas Curien et Pierre-Alain Muet, *La société de l'information*, La documentation française, 2004, 312 p.

À ces deux axes de standardisation et de spécialisation s'ajoute un troisième axe de complexité. On l'a vu plus haut, la modularisation facilite la création de produits complexes et personnalisés à partir d'éléments standardisés. Tous ces types de production coexistent dans un marché globalisé. Le paradigme de production de masse, avec son corollaire, la grande entreprise intégrée, n'a pas été simplement remplacé par la production personnalisée et les chaînes de valeur. Il s'est plutôt fondu dans une nouvelle écologie industrielle complexe. Cette complexité du monde manufacturier est illustrée par le modèle des quatre « univers de production » (*worlds of production*)⁶⁸ (voir figure 2.2). Chaque univers correspond à un certain type de produit destiné à un certain type de marché. Chacun est le résultat d'une forme de coordination entre les producteurs (travailleurs et management) et les utilisateurs (clients) qui s'inscrit dans un ensemble de conventions et de règles qui lui sont propres. Ainsi, par exemple, les difficultés de l'industrie automobile américaine devant la pression exercée par l'industrie japonaise s'expliquent par le mode de raisonnement des dirigeants américains, confiné à l'univers de la production de masse.

*Thus the U.S. automobile industry long pursued adjustments within the Industrial World, yet saw profits and market share sink despite huge increases in hourly labor productivity. Not until they understood the need to upgrade product quality did the hemorrhaging stop. This change in product was not undertaken via the action framework of the Industrial world, but by drawing on the Market and Intellectual Worlds, an effort which met with huge resistance at all levels of the industry because it was inconsistent with the conventions in place*⁶⁹.

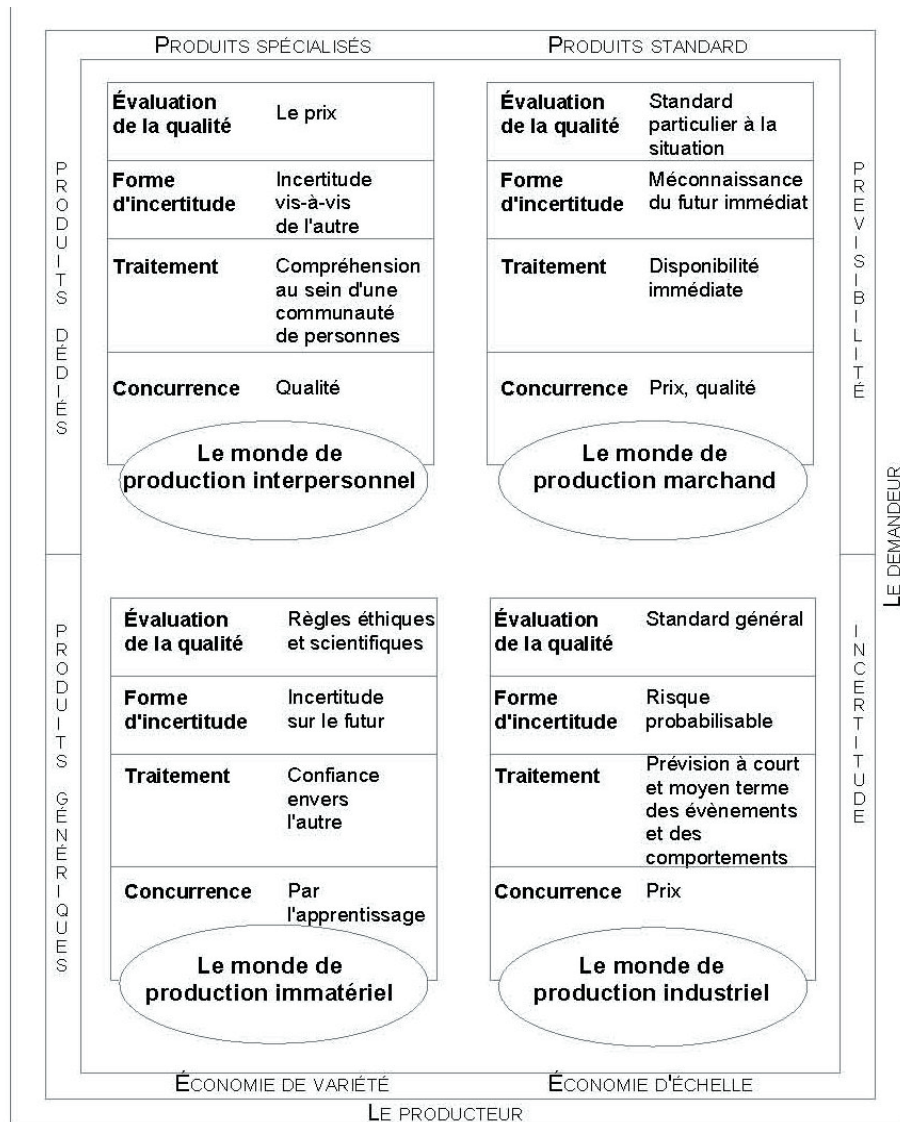
Cet exemple montre que le produit manufacturé est le résultat d'interactions complexes entre le monde de la technologie et le monde de l'organisation du travail, dont l'évolution se fait à un rythme fort différent⁷⁰. Toute approche ou politique visant à faciliter l'introduction réussie de nouvelles technologies au sein des entreprises doit donc tenir compte de ces différences.

⁶⁸ Michael Storper et Robert Salais, *op. cit.*

⁶⁹ *Ibid.*, p. 53.

⁷⁰ Trois grands courants de pensée semblent émerger de l'analyse du changement organisationnel. Dans les thèses évolutionnistes, toute organisation est sujette à une certaine forme d'inertie issue de l'accumulation d'un savoir-faire interne qui rend le changement difficile. L'entreprise évolue dans un système social et institutionnel, régi par un système de valeur très difficile à modifier. Pour les tenants de la théorie de l'équilibre, les organisations vivent généralement de longues périodes de stabilité ponctuées de crises (un changement technologique radical par exemple) qui entraînent des modifications majeures. Le troisième courant de pensée voit le changement organisationnel comme étant le résultat des décisions du management. L'entreprise n'est pas seulement soumise aux variations de son environnement, mais dispose des ressources internes nécessaires pour se modifier par l'entremise d'un processus de changement continu (voir Alice Lam, « Organizational innovation », dans *Oxford Handbook of Innovation*, p. 133).

Figure 2.4
Les quatre univers de production



Source : Adapté de Michael Storper et Robert Salais, *Worlds of Production – The Action Frameworks of the Economy*, Harvard University Press, 1997, p. 33.

Principaux constats

- Le secteur manufacturier ne peut se réduire à la seule étape de fabrication. Le développement et la fabrication d'un produit manufacturé résultent de l'interaction complexe entre trois grandes composantes : le produit proprement dit, l'organisation du processus de production et l'organisation du travail. Ces trois composantes font l'objet de vastes travaux de recherche qui restent cependant cantonnés dans leurs champs de compétences respectifs. La synergie est faible entre ces trois grands domaines.
- Les secteurs industriels s'organisent suivant une logique qui leur est propre et qui reflète leur culture. Plusieurs modes de production coexistent. Chaque mode de production peut être rentable dans la mesure où il est implanté de façon cohérente et en phase avec un contexte économique donné. L'introduction de nouvelles technologies ne peut se faire adéquatement que si l'on tient compte des autres dimensions de la production, de même que de la stratégie globale de l'entreprise.
- Les choix technologiques d'une entreprise, ses besoins en matière d'échange d'information et de coordination sont en grande partie conditionnés par le type de produit manufacturé, son architecture, sa complexité et le processus de fabrication choisi. Une architecture modulaire, par exemple, favorise la dispersion géographique des fournisseurs de composantes et une réduction des besoins de coordination de la chaîne d'approvisionnement. Inversement, une architecture intégrale, caractéristique de plusieurs biens complexes, nécessite des échanges soutenus d'information et de savoirs tacites qui favorisent la proximité géographique. Le recours exclusif à des technologies de l'information à des fins de coordination ne permet pas la circulation adéquate du savoir tacite nécessaire à une production efficace des biens complexes.
- La production de biens complexes a un effet structurant dans la mesure où elle favorise la constitution de réseaux de production nécessitant un échange de connaissances et de savoirs tacites importants. Les technologies ne sont pas en mesure de capter toute la complexité de ce savoir, et les étapes de production basées sur le savoir et sur les compétences des ressources humaines, comme la conception, la gestion ou la commercialisation, prennent une importance stratégique.
- Le développement de produits est une stratégie qui permet d'affronter les nouvelles conditions de la concurrence auxquelles doit satisfaire le secteur manufacturier. Il favorise la création, dans une entreprise, de nouveaux savoirs qui s'expriment dans la conception et la fabrication de nouveaux produits. En particulier, la mise en commun des différentes compétences présentes au sein de l'entreprise et dans le réseau de production dès l'étape de conception permet une diminution des temps de développement de nouveaux produits et une meilleure prise en compte des besoins des clients.

CHAPITRE 3

LES TECHNOLOGIES DE FABRICATION DE POINTE

Si la nature d'un produit manufacturé influence l'organisation du travail nécessaire à sa réalisation, les technologies de fabrication disponibles contribuent dans une certaine mesure à la capacité des entreprises de produire de manière rentable dans un environnement économique donné. L'objectif de ce chapitre est de faire un survol des nouvelles technologies de fabrication de pointe (TFP) afin d'évaluer dans quelle mesure celles-ci participent à l'amélioration de la productivité et de la compétitivité des entreprises manufacturières et de définir quelles sont les conditions ou les formes organisationnelles qui favorisent leur implantation et leur utilisation.

En raison de la forte concurrence des pays offrant de bas coûts de main-d'œuvre, les PME manufacturières des pays occidentaux se voient de plus en plus dans l'obligation de revoir leur mode de production. Elles doivent innover de façon continue, personnaliser leur produit, faire preuve de flexibilité et migrer vers la production de produits et de composantes à haute valeur ajoutée. Cela implique, sur le plan organisationnel, une reconfiguration vers la gestion des connaissances et des compétences et, sur le plan technologique, une mise à niveau des outils de production, en particulier l'acquisition de TFP et, de façon générique, de technologies de l'information.

1. Brève description des technologies de fabrication de pointe

Les TFP recouvrent un vaste ensemble de technologies venant soutenir les différentes étapes du processus de production (conception, fabrication, distribution) au sein d'une chaîne de valeur. Elles sont de plus en plus basées sur l'utilisation des technologies de l'information, plus particulièrement sur l'augmentation rapide de la puissance de calcul et de la capacité des réseaux qui favorisent une réduction du coût des transactions. Certaines de ces technologies sont directement implantées dans des machines-outils (les machines-outils à contrôle numérique ou CNC), responsables du façonnage de pièces à partir de matériaux bruts, alors que d'autres sont essentiellement des technologies de coordination et d'échange rapide d'informations numériques. D'autres, enfin, englobent dans une vision systémique les différentes étapes de production dans une usine ou une entreprise, voire dans un réseau d'entreprises. Le tableau 3.1 regroupe un certain nombre de technologies en fonction de l'étape de production.

Tableau 3.1
Technologies de conception, de fabrication et de coordination

Technologies de conception	Technologies de fabrication
Conception assistée par ordinateur (CAO)	Machines-outils à contrôle numérique (MOCN)
Ingénierie assistée par ordinateur (IAO)	Robots
Technologies de modélisation ou de simulation	Systèmes automatiques d'acheminement
Intelligence artificielle	Cellules de fabrication flexible
Bases de données et forage de données	Systèmes de fabrication flexible
Systèmes experts	Conception et fabrication assistées par ordinateur
Échange électronique de fichiers CAO Outils d'optimisation	Production assistée par ordinateur
	Système intégré de production
	Lasers utilisés dans le traitement des matériaux
	Usinage à grande vitesse
	Technologies de grande précision dimensionnelle
	Automates programmables
	Stockage mécanisé automatisé
	Système d'acquisition et de contrôle des données (SACD)
	Contrôle numérique à distance de procédés de l'usine
	Logiciels à base de connaissances
Technologies de coordination	
Planification des besoins de matières (PBM, MRP)	
Planification des ressources de fabrication (PRF, MRPII)	
Progiciel de gestion intégrée (PGI, ERP)	
Gestion des données techniques	
Systèmes de gestion de projet	
Système de gestion de la qualité totale	
Système de livraison « juste-à-temps »	
Internet/intranet/extranet	
Échange de données informatisées et commerce électronique	
Réseaux locaux (LANS)	

Source : Mark Dodgson, David M. Gann et Ammon J. Salter, *The Intensification of Innovation*, 2001.

Statistique Canada a mis au point un ensemble de catégories pour classer les différents types de technologies de pointe. Ces catégories ont été classées, en 1989, en six grands groupes fonctionnels regroupant 22 technologies. En 1998, une révision de cette classification retenait 26 technologies⁷¹. Trois enquêtes sur l'utilisation des technologies de fabrication de pointe (en 1989, 1993 et 1998) ont jusqu'ici été complétées par Statistique Canada. Le tableau 3.2 donne la liste de ces technologies ainsi que leur taux d'adoption pour les trois enquêtes.

Tableau 3.2
Taux d'adoption des technologies de pointe par groupe fonctionnel pour les enquêtes de 1989, 1993 et 1998⁷²

Technologie	Enquête de 1989	Enquête de 1993	Enquête de 1998
Conception et ingénierie			
CAO/IAO	15	30	44
CAO/FAO	6	15	36
Représentation numérique des résultats de la CAO (technologies de modélisation ou de simulation)	4	7	17
Échange électronique de fichiers CAO	-	-	34
Traitement, fabrication et assemblage			
Cellules/systèmes de fabrication flexibles	7	7	15
Automates programmables	15	18	37
Machines à commande numérique	10	16	-
Lasers utilisés dans le traitement des matériaux	2	4	9
Bras-transferts	3		7
Usinage à grande vitesse			17
Systèmes de prototypage rapide (SPR)			5
Technologies de grande précision dimensionnelle			7
Autres robots	3	4	8
Manutention automatisée des matières			
Stockage mécanisé automatisé	4	4	5
Identification des pièces pour l'usinage automatique (par exemple, codage à barres)	-	-	18
Systèmes de véhicules à guidage automatique	3	1	-
Inspection			
Systèmes de vision artificielle servant à l'inspection ou à la mise à l'essai de pièces ou de produits finis	-	-	11
Autres systèmes automatisés munis de capteurs servant à l'inspection ou à la mise à l'essai de pièces ou de produits finis	10	1	13

⁷¹ John R. Baldwin, Brent Diverty et David Sabourin, *Utilisation des technologies et transformation industrielle*, 1995, 41 p. (p. 9).

⁷² John R. Baldwin, Ed Rama et David Sabourin, *Croissance de l'utilisation des technologies de pointe dans le secteur canadien de la fabrication durant les années 90*, 1999, 34 p. Le tiret (-) indique que la technologie n'était pas retenue pour cette enquête.

Tableau 3.2 (suite)

Technologie	Enquête de 1989	Enquête de 1993	Enquête de 1998
Réseaux de communication			
Réseau local de données techniques pour les besoins de l'usine ou de la production	12	13	36
Réseaux informatiques élargis (dont les intranets et les réseaux à grande distance)	-	-	35
Réseau informatique interentreprises	9	9	29
Intégration et contrôle			
Planification des besoins de matières (PBM)	14	16	-
Planification des ressources de fabrication (PRF)	8	9	21
Planification des ressources de l'entreprise (PRE)			
Ordinateurs exerçant un contrôle sur les activités de l'usine	10	16	31
Production assistée par ordinateur	3	7	18
Système d'acquisition et de contrôle des données (SACD)	5	8	16
Utilisation de données d'inspection pour le contrôle de la production	-	-	26
Contrôle numérique à distance de procédés de l'usine (par exemple, réseau de terrain)	-	-	5
Systèmes d'intelligence artificielle/experts	2	2	18

La description précise de ces technologies dépasse le cadre du présent document. Cependant, l'examen de quelques-unes d'entre elles permettra de situer le lecteur quant aux avantages et aux applications de certaines de ces technologies.

Plusieurs autres classifications des TFP ont été proposées. À des fins d'analyse par exemple, les technologies faisant l'objet des enquêtes de Statistique Canada sont parfois réparties en trois grands groupes : les logiciels, les communications en réseau et le matériel. Les technologies matérielles correspondent à des technologies qui permettent de manipuler la matière. Les machines-outils à contrôle numérique (MOCN) comptent parmi les plus connues. Quelle que soit la machine considérée, elle permet généralement d'automatiser un certain nombre d'opérations relativement simples : couper, polir, trouser, plier, etc. Les robots permettent des opérations plus complexes, comme souder ou peindre, nécessitant des prises de décision simples. Ils sont également en mesure de s'adapter à différentes situations et de travailler dans des environnements dangereux. Étant donné leur interface directe avec les matériaux et les objets manufacturés, ces technologies sont très variées et dépendent d'un ensemble de propriétés physiques propres à un contexte manufacturier donné. Dans une étude sectorielle sur l'utilisation des TFP dans le secteur de la transformation des aliments⁷³, on a eu recours à une liste supplémentaire d'une soixantaine de technologies particulières, dressée avec le concours

⁷³ John Baldwin, David Sabourin et David Smith, *Effet de l'utilisation des technologies de pointe sur le rendement des entreprises du secteur canadien de la transformation des aliments*, 2003, 49 p.

d'experts du milieu, afin de procéder à une enquête plus précise. On peut supposer que la même procédure devrait s'appliquer à chacune des industries du secteur manufacturier. Le recours au TFP varie énormément selon le secteur industriel.

L'incorporation des technologies de l'information à l'intérieur des machines-outils (les machines à contrôle numérique) a permis de satisfaire deux des principales exigences des nouveaux modes de production : la flexibilité de la production et la précision de l'usinage (tableau 3.3). Une grande partie de l'effort d'amélioration des machines-outils est allé à la réduction des temps de préparation (*set-up times*). Dans une logique de production de masse, les machines doivent produire autant de pièces que possible afin de réduire au minimum leur coût unitaire. Les temps de préparation nécessaires à la reconfiguration des machines peuvent être assez longs, bloquant les chaînes de production. La constitution d'inventaires permettant de maintenir l'approvisionnement continu de composantes et de produits finis se révèle alors indispensable. Aujourd'hui, plusieurs pièces complexes peuvent être fabriquées par une seule machine dont les temps de préparation sont plus courts. Cela permet la production de petits lots, adaptés aux demandes des clients. Les inventaires s'en trouvent réduits. Le recours à des programmes sources et à de nouveaux modèles mathématiques permet d'augmenter la précision des pièces. De nouvelles technologies, comme le guidage au laser ou l'utilisation de moteurs linéaires, permettent également d'augmenter la précision de l'usinage.

Tableau 3.3
Évolution du secteur manufacturier

Indicateurs de production	Production de masse 1900-1960	Production flexible 1961-2000	Personnalisation de masse 2001-2020
Nombre de machines-outils	150-60	50-30	25-20
Produits manufacturés	10-15	100-1000	Illimité
Produits retravaillés	25 % et plus	0,02 % et moins	Moins de 0,0005 %

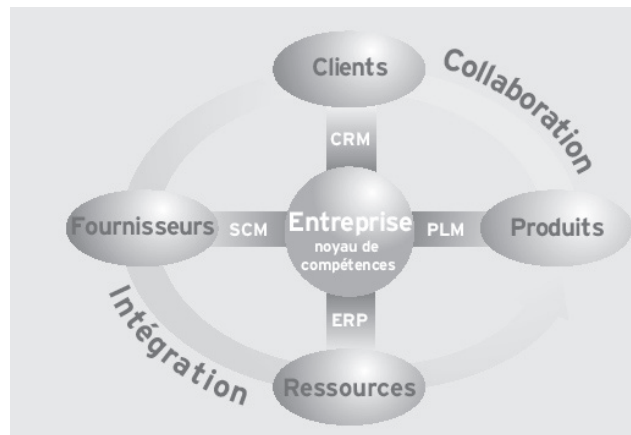
Source : Stephen F. Krar et Arthur R. Gill, *Exploring Advanced Manufacturing Technologies*, Industry Press, 2003, p. 11-2-3.

Plus on augmente le degré d'abstraction des opérations manufacturières, plus les technologies deviennent complexes, bien qu'elles acquièrent alors une dimension plus transversale. La gestion des comptes, des clients et des fournisseurs, par exemple, est une fonction commune à toutes les entreprises, indépendamment du produit considéré. Plusieurs technologies logicielles tentent de soutenir ces opérations qui deviennent de plus en plus complexes, ne serait-ce qu'en raison de la multiplication des entreprises participant à la chaîne de valeur. L'un des principaux défis réside dans l'intégration de toutes ces opérations (conception-fabrication-commercialisation) afin de permettre des prises de décision plus rapides.

La figure 3.1 illustre les différents types de logiciels qui visent à coordonner l'ensemble des opérations

de l'entreprise. Ces logiciels doivent répondre à un certain nombre d'exigences afin de permettre aux gestionnaires de disposer, en temps réel, de toutes les informations favorisant une prise de décision rapide et éclairée⁷⁴. La maîtrise de ces processus devient un avantage comparatif extrêmement important.

Figure 3.1
Les principaux outils d'intégration des données de l'entreprise



Source : EDS, *Solutions collaboratives pour la gestion du cycle de vie d'un produit*, 2000.

On reconnaît quatre grandes familles d'applications :

- **CRM** : *Customer Relationship Management* (Gestion de la relation client)
- **SCM** : *Supply Chain Management* (Gestion de la chaîne logistique)
- **ERP** : *Enterprise Resource Planning* (Planification des ressources d'entreprise)
- **PLM** : *Product Lifecycle Management* (Gestion du cycle de vie d'un produit)

En raison de l'importance considérable qui leur est accordée depuis quelques années, nous nous arrêtons aux logiciels de type ERP (*Enterprise Resource Planning*). L'examen de ce type d'application nous servira à illustrer les difficultés d'implantation de l'ensemble des technologies de coordination et d'échange de données. Les ERP sont destinés à intégrer l'ensemble des informations dispersées au sein des entreprises. Traditionnellement, ces informations étaient gérées par chaque service au moyen de logiciels informatiques isolés. Ce manque d'intégration a des répercussions sur la performance globale de l'entreprise.

Par exemple, au début des années 90, la compagnie Boeing utilisait près de 400 logiciels différents,

⁷⁴ On regroupe parfois ces logiciels sous l'acronyme OLAP (*On Line Analytical Processing*). Ils reposent sur des bases de données conçues de manière à traiter simultanément un grand nombre de tables multidimensionnelles et à répondre rapidement à des requêtes complexes.

développés pour la plupart durant les années 1960, pour gérer la production d'un appareil. L'information n'était pas cohérente et les systèmes n'étaient pas synchronisés, provoquant des retards dans l'acheminement des pièces et à des arrêts dans les chaînes de montage. À la suite d'une hausse de la demande en 1997, ces problèmes sont devenus insupportables, menant à la fermeture de deux usines et à des pertes de 1,6 milliard⁷⁵ de dollars. L'entreprise a depuis remplacé ses vieux systèmes par des logiciels commerciaux de type ERP.

Les ERP sont conçus de manière à constituer l'épine dorsale des systèmes d'information de l'entreprise. Ils s'adressent avant tout à la très grande entreprise (voir encadré). Ils prennent le relais des systèmes MRP (*Material Requirement Planning*), spécialement conçus pour gérer la fonction de production, et MRP-II (*Manufacturing Resources Planning*), une génération subséquente, des systèmes qui ajoutaient la possibilité de gérer d'autres fonctions, par exemple la planification de la demande. Les ERP permettent de couvrir l'ensemble de toutes les opérations manufacturières, y compris la distribution, la gestion des ressources humaines et la gestion financière. Ils cherchent à permettre le partage de cette information par toutes les unités administratives de l'entreprise. L'accès à une information intégrée s'en trouve facilité, les données sont centralisées et les processus rationalisés, ce qui permet une diminution des coûts. La vague de réingénierie des processus d'affaires au début des années 1990 a d'ailleurs favorisé l'implantation de ce type de logiciel, avec des résultats mitigés cependant.

⁷⁵ Haim Mendelson, *ERP Overview*, 2000, 17 p.

Les logiciels ERP

Les logiciels de type ERP, CRM et SCM étaient, à l'origine, le plus souvent destinés aux très grandes entreprises. L'exemple suivant illustre un cas d'implantation dans une entreprise de grande envergure, Abitibi-Consolidated, qui a fait l'acquisition de deux solutions logicielles de la compagnie PeopleSoft : *EnterpriseOne Customer Order Management* et *EnterpriseOne Advanced Planning*. Abitibi-Consolidated dispose de plus de 27 usines, compte 15 000 employés et a enregistré des ventes de cinq milliards de dollars en 2004.

Quand on a six ou huit usines, on peut toujours se baser sur l'expérience [...], mais quand on a une vingtaine d'usines et une quarantaine d'entrepôts, c'est beaucoup plus compliqué de déterminer par quelle usine et par quel entrepôt passer pour réaliser une commande pour que ça coûte le moins cher possible.

Le système informatique utilisé jusque-là ne permettait pas de répondre à ces problèmes et n'était pas assez flexible, en plus d'être coûteux à supporter.

Le fait d'avoir plus d'usines donne plus d'opportunités de baisser les coûts et pour exploiter cette opportunité-là, ça prend des outils complexes [...] ça demande des modèles mathématiques assez complexes pour déterminer la meilleure option qui soit en tenant compte de plusieurs variables. Grâce à des fonctions de modélisations, le système fournit des scénarios avec le prix que ça va coûter.

Le progiciel permet ainsi une réduction des frais de transport, en plus d'une réduction des frais de gestion des inventaires en raison d'une gestion plus pointue des stocks qui permet une gestion au niveau de chaque rouleau plutôt qu'un simple inventaire total. Les frais de développement informatique sont également réduits, l'équipe responsable passant de dix-huit personnes à six ou huit.

L'entreprise se sert du logiciel pour optimiser la distribution et la réalisation des commandes. On utilise des modèles mathématiques complexes pour déterminer la meilleure option qui soit en fonction de plusieurs variables.

La mise en place du système, y compris l'achat des logiciels, leur intégration et la formation des 250 utilisateurs, coûtera 30 millions de dollars. La firme s'attend à récupérer 30 % de cette somme sur une période de quatre ans en économies et gains d'efficacité.

Source : Alain Beaulieu, « Croître pour moderniser » *Direction informatique*, décembre 2004/janvier 2005, p. 22.

Cinq grandes compagnies ont longtemps dominé le marché des ERP : J.D. Edwards, Baan, Oracle, PeopleSoft et SAP AG. La stratégie de ces entreprises consiste à proposer des solutions complètes afin de favoriser une meilleure intégration des différents modules ainsi que des économies au chapitre des coûts de maintenance.

Ces systèmes sont ouverts, ce qui permet d'y greffer d'autres solutions commerciales spécialisées, comme les SCM, les CRM ou le commerce électronique, ou encore d'intégrer les solutions déjà existantes dans l'entreprise. Les principaux fournisseurs comptent cependant sur leurs propres logiciels de CRM ou SCM. Par exemple, la compagnie SAP a développé un ensemble de solutions CRM adaptées au contexte de différents secteurs d'activité. On désigne parfois sous l'acronyme ERP II ces logiciels qui permettent de gérer non seulement les processus de l'entreprise, mais également les échanges entre différentes entreprises faisant partie d'une chaîne de valeur.

Le choix d'un ERP est une entreprise difficile. Il faut que les processus d'affaires soient parfaitement documentés et modélisés dans un système qui peut contenir 8 000 tables de configuration. Un sondage effectué auprès de 220 compagnies internationales a révélé que l'effort moyen d'implantation d'un ERP était de l'ordre de 141 mois-personnes et son coût moyen, de 7,5 millions de dollars. On relève également plusieurs problèmes d'implantation, des abandons de projets et des dépassements de coûts. La compagnie pharmaceutique Fox Meyer a même fait faillite à la suite de l'implantation d'un logiciel SAP. Après deux années et demie d'implantation et des coûts de plus de 100 millions de dollars, le système n'était en mesure de traiter que moins de cinq pour cent des commandes. Les pratiques des consultants et les coûts prohibitifs des vendeurs seraient également, selon certains, à la source de plusieurs échecs⁷⁶.

Ce type de logiciels ne convient pas d'office à toutes les entreprises. Les grandes entreprises se sont dotées de tels systèmes à partir des années 1990 et, après un ralentissement au début des années 2000, le marché des logiciels ERP s'oriente maintenant vers les PME. Il semble que l'offre de ces applications soit encore inadéquate, tant en raison de la complexité des logiciels qu'à cause du manque de ressources chez ce type d'entreprises. Toutefois, on voit apparaître depuis quelques années un ensemble de nouvelles applications plus flexibles et moins chères qui viennent compléter et concurrencer l'offre des grands fournisseurs. En somme, ce ne sont donc pas tant les fonctionnalités de ces systèmes qui ne répondent pas aux besoins des PME que la complexité des applications existantes, développées avant tout pour la grande entreprise.

Le marché se répartit en trois niveaux, qui vont des systèmes conçus pour la grande entreprise, dont les coûts d'implantation excèdent 600 000 \$, aux systèmes s'adressant aux entreprises de taille moyenne, dont les coûts varient entre 100 000 \$ et 600 000 \$, et jusqu'aux systèmes destinés à la petite entreprise. On parle dans ce dernier cas de suites logicielles, qu'on ne peut pas vraiment qualifier de ERP, mais qui permettent néanmoins d'automatiser un certain nombre de processus⁷⁷. Le défi pour une PME réside donc dans sa capacité à choisir l'application qui lui permettra de paramétrer ses processus d'affaires de manière optimale.

⁷⁶ Randy Johnston, « Beware ERP consultants », *Accounting Software World*, 2003, 7 p.

⁷⁷ Louis Lorrain, « Bénéficiaire des avantages des systèmes de gestion intégrés », *Direction informatique Express*, no 6, novembre 2003, 4 p.

Ces solutions flexibles sont parfois qualifiées de collecticiels. Ces logiciels contiennent un certain nombre de fonctionnalités de base permettant de soutenir le travail de groupe, dont⁷⁸ :

- le soutien aux interactions informelles;
- le soutien au partage et à l'échange d'information;
- le soutien à la prise de décision collective;
- le soutien à la coordination et aux protocoles de contrôle;
- le soutien à la gestion des répertoires partagés.

Quelle que soit la solution envisagée, il convient de rappeler que ces outils ne font que soutenir des processus qu'il est important de bien définir avant de procéder à leur choix et à leur mise en œuvre.

Une étude⁷⁹ a dressé une typologie des utilisateurs de ERP à partir de l'analyse de 80 projets d'implantation d'un logiciel SAP R/3. Elle révèle quatre grands types d'utilisateurs répartis en fonction des conditions des opérations (simples ou complexes) et de l'effort consenti (faible ou élevé) à l'implantation. En effet, l'entreprise qui acquiert ce type de logiciels doit généralement décider du type d'implantation qui favorisera sa stratégie d'affaires.

Les utilisateurs « frugaux » (*frugal*) travaillent dans un environnement où les technologies et les marchés sont stables. Il s'agit principalement de PME qui agissent au niveau local. Elles ne requièrent donc pas toujours de systèmes sophistiqués et leur investissement vise une implantation simple et rapide destinée avant tout à réduire leurs coûts d'exploitation. Les utilisateurs « radicaux » (*radical BRP*) ont des besoins semblables à ceux des entreprises du premier groupe, mais ils utilisent l'implantation des ERP dans le cadre d'une réingénierie de leurs processus d'affaires. Elles effectuent des investissements beaucoup plus importants dans la conduite du projet d'implantation dans l'espoir de réaliser un changement radical de culture organisationnelle. Selon un tel scénario, le recours à des firmes de consultants qui travaillent étroitement avec le personnel de l'organisation est beaucoup plus fréquent.

Les utilisateurs « évolutifs » (*adaptive*) ont des besoins plus complexes que ceux des deux groupes précédents. Leurs technologies et leurs produits évoluent rapidement, et ces derniers sont généralement plus complexes. Il s'agit surtout de grandes entreprises, souvent établies dans différents pays ou régions et qui doivent faire face à un large éventail de situations imprévisibles. Dans un tel environnement, l'adaptabilité des systèmes est essentielle, ce qui pousse ces entreprises à investir massivement dans leurs compétences internes de manière à faciliter une implantation qui respecte les différents processus locaux. Les utilisateurs « astreints » (*straitjacket*) ont des besoins complexes, similaires à ceux du groupe précédent. Ils considèrent toutefois les ERP comme une façon de réduire ponctuellement des problèmes liés à l'utilisation des TI ou de remplacer des systèmes vétustes. Ces entreprises visent plus une optimisation de certaines procédures qu'une réingénierie globale des processus. Elles cherchent donc une implantation la plus simple possible, dirigée par une équipe centralisée de spécialistes en TI et imposée localement. Ce type d'utilisateurs révélerait une

⁷⁸ Jean-Marc Frayret, François D'Amours et Sophie D'Amours, *Collaboration et outils collaboratifs pour la PME manufacturière*, 2004, 88 p.

⁷⁹ Andrea Masini, *The Frugal, the Radical, the Adaptive and the Straitjacket : Configurations of ERP Adopters in the European and US Manufacturing Sector*, 2004, 12 p.

inadéquation entre des besoins complexes et une implantation partielle et peu coûteuse des ERP. En effet, les retours sur l'investissement consenti en gestion des connaissances augmentent avec la complexité et la turbulence de l'environnement.

Dans un tel marché, marqué par de rapides changements technologiques, l'implantation des ERP pourrait être inappropriée. Les entreprises actives dans un tel environnement devraient analyser si elles ont les ressources nécessaires pour procéder à une réingénierie complète de leurs processus en concordance avec une telle implantation. Pour l'auteur, il serait préférable de ne pas implanter d'ERP au lieu de le faire à moitié. Les entreprises qui ont des besoins limités (comme c'est le cas pour certaines PME) ou qui opèrent dans un environnement stable devraient également s'interroger sur la nécessité d'une implantation à grande échelle de ce type de logiciels ou considérer l'acquisition d'une application plus simple. En somme, cette typologie illustre toute la complexité inhérente au déploiement de technologies de pointe qui doit tenir compte des caractéristiques propres à l'entreprise, de son environnement et de ses capacités d'absorption de nouvelles connaissances.

Les applications de type MRP, MRPII et ERP semblent assez peu répandues chez les PME québécoises. Une étude⁸⁰, réalisée en 2001, rapporte des taux d'utilisation de 21 %, 15 % et 3 % respectivement. Selon une autre étude plus récente de Raymond (voir le tableau 3.9 ci-après), les taux d'utilisation de ces mêmes applications seraient de 28 %, 25 % et 15 % respectivement. Il semble donc y avoir progression, et ces taux d'adoption se comparent finalement assez avantageusement avec ceux qu'ont obtenus quelques autres études que nous avons consultées. Par exemple, le taux d'utilisation des systèmes ERP était de 21 % pour l'ensemble des entreprises (petites et grandes) dans l'enquête de Statistique Canada de 1998. Dans une étude internationale⁸¹ qui portait sur la période 1996-1998, on a enregistré des taux d'utilisation des systèmes MRP de 15 % chez les PME des pays de l'OCDE.

Selon une série d'études du CEFRIO⁸², cependant, la nature du travail collaboratif entre les entreprises est encore mal connue. L'adéquation entre les solutions logicielles disponibles et les différents contextes collaboratifs reste difficile à atteindre, surtout lorsque les processus d'affaires sont peu documentés. Il semble, de plus, que les PME éprouvent de la difficulté à estimer les avantages qu'elles pourraient retirer de l'utilisation de ces outils collaboratifs. En l'absence d'une culture de réseautage, il est plus difficile pour les entreprises de voir les avantages liés à ces technologies. Celles-ci ne sont utiles que dans la mesure où une collaboration préalable existe entre des PME. On le voit bien dans le secteur de la plasturgie, qui a fait l'objet d'une enquête sectorielle, où l'on remarque une faible propension des PME à se regrouper pour obtenir un certain nombre d'avantages.

La question qui nous préoccupe n'est donc pas tant de savoir si les entreprises investissent dans les TFP (matériel ou logiciel), mais bien de savoir si ces technologies contribuent de façon significative à la performance de l'entreprise et, le cas échéant, quels sont les critères ou les conditions qui favorisent leur adoption. En effet, il existe plusieurs exemples de réussites technologiques qui cachent d'autres

⁸⁰ Sami Ben Nasr, *Impact des systèmes d'information de GOP sur la performance financière des PME manufacturières*, mémoire de maîtrise, Université du Québec à Trois-Rivières, 2002, 89 p.

⁸¹ Il s'agit de l'International Manufacturing Strategy Survey (IMSS). Voir Jessica Kennedy et Paul Hyland, *A Comparison of Manufacturing Technology Adoption in SMEs and Large Companies*, 16th Annual Conference of Small Enterprise Association of Australia and New Zealand, Ballarat, 28 septembre-1er octobre 2003.

⁸² Voir Jean-Marc Frayret, François D'Amours et Sophie D'Amours, *Collaboration et outils collaboratifs pour la PME manufacturière*, 2004, 88 p. et Louise Côté, Michelle Vézina et Vincent Sabourin, *Les affaires électroniques et l'industrie de la plasturgie au Canada : une analyse sectorielle*, 2003, 47 p.

tentatives infructueuses. Comme le font remarquer Storper et Salais⁸³, la profitabilité ne définit pas le mode de production. Chaque univers de production est en soi profitable s'il est mis en œuvre de façon cohérente.

Par ailleurs, les résultats de certaines recherches⁸⁴ semblent démontrer que les investissements dans l'innovation organisationnelle (définie ici comme l'organisation du travail, la planification, le contrôle et l'assurance qualité) contribuent de façon beaucoup plus significative à la performance de l'entreprise que les simples investissements en TFP. Ces derniers, cependant, contribuent de manière plus significative à la profitabilité lorsqu'ils sont appuyés par des investissements dans l'organisation de l'entreprise. D'ailleurs, la valeur des « actifs intangibles » (c'est-à-dire les ressources humaines et la culture organisationnelle de l'entreprise) serait dix fois plus élevée que celle des actifs tangibles en TI, comme les logiciels et le matériel informatique⁸⁵. L'innovation organisationnelle serait donc une clé pour actualiser le potentiel économique de l'introduction de TFP.

D'autres études de cas démontrent que des améliorations issues de la méthode *Kaizen* (amélioration continue, l'une des bases de la production allégée), par exemple le réaménagement des aires de travail, la participation des employés à l'amélioration des processus de travail et l'étiquetage des composantes (le *Kanban*), participent de façon importante à l'augmentation de la productivité des entreprises sans pour autant nécessiter des investissements coûteux en nouveaux équipements⁸⁶.

Ces exemples viennent tempérer les propos des tenants d'un certain déterminisme technologique qui réduisent trop souvent la production manufacturière à la seule étape de la fabrication et à l'utilisation d'équipements sophistiqués⁸⁷. Toutefois, la prise en compte des technologies de pointe s'avère incontournable en raison du nouveau mode de production qui exige des délais de production et une qualité que seuls de nouveaux équipements sont en mesure d'atteindre. D'ailleurs, les entreprises chinoises, qui basent leur compétitivité sur des faibles coûts de main-d'œuvre, sont de plus en plus équipées de technologies de fine pointe⁸⁸. C'est d'ailleurs précisément cette combinaison de haute technologie et de bas coûts de main-d'œuvre qui distinguerait la nouvelle compétition chinoise des précédentes vagues de pays émergents exportateurs, comme le Japon ou le Mexique⁸⁹.

L'adoption des technologies de l'information et des TFP ne constitue pas en soi un critère d'innovation réussie. Elle reflète plutôt la position d'une entreprise dans une chaîne de valeur particulière. Plus l'entreprise occupe une position stratégique dans une chaîne de valeur, plus elle devra avoir recours

⁸³ Michael Storper et Robert Salais, *op. cit.*

⁸⁴ Kenneth K. Boyer et al., « Unlocking the potential of advanced manufacturing technologies », *Journal of Operations Management*, vol. 15, no 4, 1997, p. 331-347.

⁸⁵ Alain Beaulieu, « Devenir numérique pour être plus compétitif », *Direction informatique*, février 2005, p. 20.

⁸⁶ Voir par exemple Astrid Morchoine, « Michel Julien a fait 12 Kaizen et obtenu des résultats », *Les Affaires*, 30 octobre 2004, p. 14; Nancy Coulombe, « Productivité accrue de 25 % aux industries A.P. », *Les Affaires*, 28 février 1998, p. 26; Michel De Smet, « Fordia a su innover pour augmenter sa productivité », *Les Affaires*, 10 janvier 2004, p. 34.

⁸⁷ Voir par exemple Patricia E. Moody et Richard E. Morley, *The Technology Machine : How Manufacturing Will Work in the Year 2020*, The Free Press, 1999, 320 p.

⁸⁸ Voir la revue *Commerce*, novembre 2004, p. 36, pour un témoignage d'un designer québécois qui fait des affaires en Chine : « Au Québec, les meilleures machines à broderie ont 16 têtes; chez mes fabricants chinois, elles ont 50 têtes doubles. »

⁸⁹ Pete Engardio et Dexter Roberts, « The China price », *Business Week*, no 3911, 6 décembre 2004, p.102-124; voir également Pierre Pinsonneault, « Les pays émergents sont-ils si dangereux pour les entreprises québécoises? » (entretien avec P.-A Julien), *Entête en ligne*.

[http://www.entete.uqtr.ca/description.php?no_fiche=4280§ion_cat=1§ion_sommaire=].

à des technologies lui permettant de communiquer avec ses fournisseurs et ses clients, et plus ses capacités d'innovation et de flexibilité devront être grandes. Acquisition de technologies et R-D, par exemple, iront alors de pair. L'utilisation de TFP découle des compétences et des savoirs accumulés par l'entreprise dans la pratique du « métier », de même que de l'adoption de différentes pratiques organisationnelles : gestion des ressources humaines, commercialisation, gestion de la production, etc.

En résumé, il importe d'insister sur le fait que l'utilisation des technologies de fabrication de pointe est intimement liée au type de produit manufacturé et à la position occupée par l'entreprise dans la chaîne de valeur, ainsi qu'aux compétences et aux savoirs accumulés par l'entreprise.

2. Utilisation des technologies de fabrication de pointe

Nous avons retracé plusieurs études portant sur l'utilisation des TFP dans le secteur manufacturier canadien et québécois. En particulier, nous signalerons un ensemble d'enquêtes, dirigées par Landry et portant sur l'innovation dans différentes régions du Québec, qui mesurent l'utilisation des TFP. Il existe aussi diverses études publiées par l'Institut de recherche sur les PME de Trois-Rivières, qui sont basées sur des échantillons de PME manufacturières québécoises et canadiennes. Le Centre de recherche industrielle du Québec a également réalisé une enquête sur « Les besoins technologiques des entreprises manufacturières québécoises ».

Les enquêtes les plus exhaustives dont nous disposons sont celles provenant de Statistique Canada et que nous avons déjà citées. De l'avis de plusieurs, ces enquêtes comptent parmi les meilleures actuellement disponibles au niveau mondial⁹⁰. Plusieurs études de Statistique Canada, basées sur ces enquêtes, ont porté sur l'utilisation des technologies de pointe et sur l'innovation dans le secteur manufacturier. Ces enquêtes permettent notamment de comparer les taux d'adoption des TFP au Québec et dans les autres provinces. Les dernières données disponibles remontent à 1998, ce qui ne permet pas d'établir un diagnostic valable de l'état actuel de la situation. La prochaine enquête est prévue pour 2006.

Notre intention première n'est donc pas de dresser un bilan de l'utilisation actuelle des TFP au Québec ou au Canada. Ces données nous serviront avant tout à situer l'adoption et l'utilisation des TFP dans le contexte plus large de la stratégie de l'entreprise et du secteur d'activité dans laquelle celle-ci évolue. Nous cherchons à dégager quelles sont les conditions organisationnelles qui favorisent une implantation optimale de ces technologies.

Nous examinerons les effets de l'adoption des TFP sur la productivité et sur les performances globales des entreprises, l'effet de la taille de l'entreprise et du secteur industriel sur les taux d'adoption, ainsi que les liens entre la stratégie de l'entreprise et l'utilisation des TFP. Nous concluons avec un bref survol de l'utilisation comparative des TFP au Québec et en Ontario en gardant à l'esprit que les données disponibles remontent à l'enquête de 1998 et qu'elles ne livrent qu'un portrait imprécis de la situation actuelle.

⁹⁰ Mark Dodgson, David M. Gann et Ammon J. Salter, *The Intensification of Innovation*, 2001.

Le tableau 3.1, plus haut, donne les taux d'adoption de l'ensemble des technologies étudiées pour les trois enquêtes complétées jusqu'ici. Le tableau 3.4 donne l'évolution de l'utilisation des technologies par grand groupe fonctionnel.

Tableau 3.4
Utilisation des technologies de pointe par groupe fonctionnel, Canada, 1989-1998

Technologies	Utilisation		
	(pourcentage d'établissements)		
	1989	1993	1998
Conception et ingénierie	17	34	51
Traitement, fabrication et assemblage	21	25	44
Réseaux de communication	17	18	47
Intégration et contrôle	17	24	49
Manutention automatisée des matières	5	4	5
Inspection	10	10	13

Source : John R. Baldwin, Ed Rama et David Sabourin, *Croissance de l'utilisation des technologies de pointe dans le secteur canadien de la fabrication durant les années 90*, Statistique Canada, 1999, 34 p.

Sauf pour le groupe de conception et ingénierie, la croissance de l'utilisation des technologies de pointe a été faible durant la période allant de 1989 à 1993, mais elle a augmenté considérablement par la suite. La forte récession qui a marqué la fin des années 1980 et le début des années 1990, très préjudiciable aux investissements des entreprises, en serait la principale cause. C'est le groupe des réseaux de communication, et plus particulièrement les technologies de communication interentreprises, qui a connu la plus forte augmentation durant la période 1993-1998.

Le tableau 3.5 donne les taux d'adoption d'un certain nombre de TFP au Québec, selon l'enquête du Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) menée en 2001.

Tableau 3.5
Utilisation des technologies de pointe au Québec, 2001

Technologie	Présence (%)
Systèmes d'information sur la fabrication	46,7
Système de gestion de la maintenance	41,6
Automates programmables (PLC's)	38,7
Cellules de fabrication flexibles	29,8
Systèmes de traitement des déchets	23,9
Simulation/modélisation	23,5
Systèmes de manutention automatisée	20,2
Robotique	18,8
Systèmes automatisés de stockage et d'extraction	17,7
Systèmes d'assemblage automatisés	17,1
Systèmes d'inspection automatisés	11,6
Systèmes de vision artificielle	10,0

Source : Centre de recherche industrielle du Québec, *Étude sur les besoins technologiques des entreprises manufacturières du Québec*, 2002.

Les technologies proposées dans l'enquête du CRIQ sont essentiellement des technologies matérielles vouées à la fabrication. Les technologies plus complexes, comme les systèmes automatisés et les systèmes à vision artificielle, ont des taux de pénétration plus faibles, ce qui, en l'absence de comparatifs valables, nous donne assez peu d'information si ce n'est que l'automatisation des procédés semble encore assez peu répandue.

Selon les experts qui ont répondu à cette enquête, l'exportation semble jouer un rôle dans l'explication du recours accru aux TFP ainsi qu'à l'utilisation concurrente de plusieurs technologies. Les entreprises présentes sur la scène internationale ou qui travaillent pour de grands donneurs d'ordres actifs sur les marchés étrangers doivent respecter des normes plus élevées qui nécessitent la mise à niveau de leurs équipements.

Les comparaisons entre les différentes études disponibles s'avèrent cependant difficiles en raison d'une nomenclature variée des technologies étudiées, d'une couverture géographique différente ou de la nature de l'échantillon des entreprises sondées. Il n'existe pas, par exemple, de liste standardisée des TFP qui devraient faire l'objet des enquêtes.

2.1 Les TFP et la productivité

Selon l'enquête du CRIQ, le recours aux technologies est perçu par les entreprises comme le meilleur moyen d'améliorer leur productivité⁹¹. C'est en règle générale l'objectif premier poursuivi par les entreprises qui songent à adopter ces technologies. Une étude américaine soutient par ailleurs que le recours aux TFP a eu un impact considérable sur l'amélioration de la productivité du secteur manufacturier américain⁹², notamment par la réduction des coûts de main-d'œuvre, la diminution des inventaires grâce à une meilleure planification de la production et à la réduction de l'espace-plancher découlant de l'utilisation de machines plus polyvalentes.

Selon les données du CRIQ, la majeure partie des mesures de productivité par les entreprises se fait en fonction de variables liées à la production, comme les coûts, les délais de livraison ou les temps de production. Mais il semble que peu d'études établissent un lien entre l'implantation des TFP et les performances globales de l'entreprise⁹³.

Des études de Statistique Canada⁹⁴ examinent l'impact de l'adoption des TFP sur la performance des entreprises en analysant le rapport entre les mesures de performance de l'entreprise (soit la productivité du travail, la part de marché et la rentabilité relative) et les mesures d'utilisation des TFP.

⁹¹ On relève cependant des différences sectorielles importantes, certaines industries optant plutôt pour une amélioration de la qualification du personnel. Ce sont les plus grandes entreprises qui considèrent l'amélioration des équipements comme le principal moyen d'augmenter la productivité.

⁹² The Association for Manufacturing Technology, *Producing Prosperity – Manufacturing Technology's Unmeasured Role in Economic Expansion*, s. d., 83 p.

⁹³ Kenneth K. Boyer et al., « Unlocking the potential of advanced manufacturing technologies », *Journal of Operations Management*, vol. 15, no 4, 1997, p. 331-347.

⁹⁴ John R. Baldwin et David Sabourin, *Impact de l'adoption des technologies de l'information et des communications de pointe sur la performance des entreprises du secteur de la fabrication au Canada*, Statistique Canada, 2001, 34 p.

Dans ces études, on compare le rendement des usines au cours des années 1990 avec leur profil technologique à la fin de la période⁹⁵. Pour les trois variables citées, on observe un taux d'utilisation des TFP significativement plus élevé (tableau 3.6).

Tableau 3.6
Lien entre la croissance de la performance (1988-1997)
et l'adoption de technologies de pointe⁹⁶

Adoption de technologies de pointe	Croissance de la performance (1988-1997)					
	Productivité relative du travail		Part de marché		Rentabilité relative	
	Basse	Élevée	Petite	Grande	Basse	Élevée
	Pourcentage des établissements					
Utilisation des TIC						
Logiciels	63	73	63	74	64	71
Matériel	54	66	55	65	54	65
Communication	58	69	57	71	59	68
Au moins une	75	83	74	85	75	83
Utilisation simple						
5 ou plus	42	55	40	58	43	53
10 ou plus	18	23	17	26	17	24
Utilisation de TIC combinées						
Logiciels et matériel	46	59	46	59	47	58
Logiciels et communications	50	63	51	64	52	61
Matériel et communications	43	56	44	55	44	55
Les trois combinaisons	39	54	40	53	41	52
Nombre de technologies de pointe adoptées						
Nombre de TIC						
Logiciels	1,9	2,3	1,8	2,5	2,0	2,3
Matériel	1,4	1,8	1,4	1,9	1,4	1,9
Communications	1,4	1,7	1,4	1,8	1,4	1,7
Toutes	4,7	5,9	4,7	6,1	4,8	5,8

Note : Toutes les différences signalées dans ce tableau sont statistiquement significatives au niveau de 5 %. en fait, la plupart le sont au niveau de 1 %.

Source : John R. Baldwin et David Sabourin, *Impact de l'adoption des technologies de l'information et des communications de pointe sur la performance des entreprises du secteur de la fabrication au Canada*, Statistique Canada, 2001, 34 p.

⁹⁵ Les auteurs postulent que des différences de productivité se font jour parmi les usines, au regard de l'implantation et de l'utilisation réussies de technologies de pointe. Ils considèrent alors les variations de productivité sur une longue période, les effets de l'utilisation des TFP n'étant pas immédiats. L'utilisation des technologies en fin de période est la somme de l'utilisation en début de période et de la variation de l'utilisation durant la période de référence.

⁹⁶ La productivité du travail est définie par la valeur ajoutée totale, divisée par le nombre d'employés. La part de marché est définie comme le total des livraisons d'un établissement par rapport au total des livraisons du secteur. La rentabilité est définie comme les livraisons totales – les matières moins les traitements et salaires divisées par les livraisons totales moins la marge bénéficiaire.

Les résultats les plus significatifs s'observent pour les entreprises qui utilisent les communications en réseau ou qui combinent plusieurs TFP appartenant à différents groupes fonctionnels. On peut supposer que cela indique un lien avec la complexité du produit manufacturé et avec la complexité des échanges entre les acteurs du processus de production. Si cette interprétation est juste, l'utilisation des TFP ne fait que mettre en lumière un système productif complexe, mieux adapté aux exigences actuelles du marché.

La relation positive entre l'augmentation de la productivité du travail des entreprises et l'utilisation des TFP est commun à tous les secteurs industriels. Toutefois, dans le cas de la part de marché, deux secteurs (l'industrie du papier et l'industrie du plastique) voient une diminution de leur part de marché associée à une augmentation de l'adoption des TFP. Ce résultat pourrait indiquer que les technologies choisies dans l'enquête s'appliquent moins au secteur considéré.

Par ailleurs, en prenant en considération d'autres variables (la taille de l'entreprise, la R-D, certaines pratiques organisationnelles) dans une analyse de régression, les auteurs concluent que l'utilisation des TFP demeure le déterminant majeur de la croissance de la productivité du travail. C'est l'utilisation combinée de technologies de différents groupes fonctionnels qui explique le mieux cette croissance. Autre résultat intéressant, la taille de l'entreprise ne constitue pas un avantage significatif dans la croissance de la productivité. L'intensité en capital et la propriété étrangère des usines sont également déterminantes dans cette croissance.

La situation est moins tranchée lorsque l'on regarde la part de marché. Dans ce cas, le recours à certaines pratiques commerciales, à la R-D et à certaines stratégies est plus significatif que la seule utilisation des technologies. Là encore, cependant, c'est l'utilisation simultanée d'un ensemble de technologies qui reste significative. Elle est toutefois indissociable des autres variables de nature organisationnelle. On a donc encore un ensemble complexe de pratiques indissociables les unes de autres, et la seule acquisition de technologies ne peut constituer en soi un gage de réussite pour l'entreprise. Bien qu'incontournable, elle doit s'accompagner d'un ensemble d'autres mesures, particulièrement la formation de la main-d'œuvre.

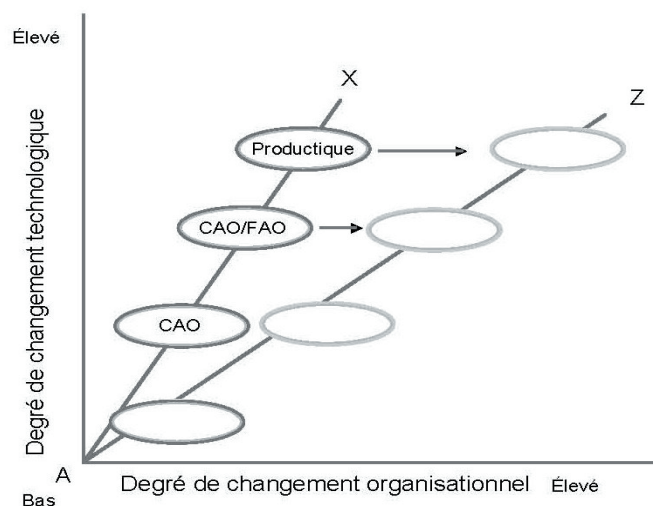
En outre, l'introduction de TFP dans une entreprise ne donne pas de résultats instantanés. L'effet ne se voit qu'à long terme en raison de l'intégration des nouveaux équipements aux processus de production, mais aussi aux processus d'affaires. Les nouvelles pratiques commerciales introduisent des changements organisationnels dont la mise en œuvre suit un échéancier beaucoup plus long que les simples changements technologiques.

Selon d'autres auteurs, les investissements en TFP, en eux-mêmes, ne contribuent guère aux performances globales de l'entreprise. Ils doivent être combinés avec des investissements liés à la formation. Ces investissements doivent en outre se faire parallèlement⁹⁷ à l'introduction de technologies.

⁹⁷ Kenneth K. Boyer *et al.*, *op. cit.*

En fait, plus le niveau technologique d'une entreprise augmente, plus son degré d'intégration organisationnelle doit croître⁹⁸. L'intégration organisationnelle vise, par exemple, à favoriser la collaboration entre les différents services d'une entreprise, l'échange d'information avec les clients et les fournisseurs, la flexibilité des travailleurs et la cohérence entre les stratégies organisationnelles, manufacturières et technologiques. La figure 3.2 illustre la relation entre le changement technologique et le changement organisationnel. L'entreprise qui adopte une technologie de niveau supérieur se déplace sur l'axe AX. Toutefois, pour réaliser le plein potentiel de ces technologies, des changements organisationnels doivent être synchronisés avec leur implantation. L'entreprise se déplace alors suivant l'axe AZ.

Figure 3.2
Lien entre le changement technologique et le changement organisationnel



Source : Denis Lagacé, *Succès d'implantation des technologies manufacturières avancées*, thèse de doctorat, École polytechnique de Montréal, 2001.

D'autres études arrivent aux mêmes conclusions. D'ailleurs, et cela explique un certain nombre d'échecs d'implantation de technologies, on remarque qu'une mauvaise intégration des TFP à la gestion des opérations peut même avoir une influence négative sur la performance des entreprises. Ce qui amène Raymond à conclure que :

Des investissements dans les systèmes avancés de fabrication ne peuvent assurer une meilleure performance que dans la mesure où ils sont cohérents avec l'environnement concurrentiel et les objectifs stratégiques des PME⁹⁹.

⁹⁹ Louis Raymond et Marie Marchand, *Les systèmes avancés de fabrication dans les PME : congruence et performance*, 2004.

⁹⁸ Denis Lagacé, *Succès d'implantation des technologies manufacturières avancées*, thèse de doctorat, École polytechnique de Montréal, 2001.

2.2 Utilisation des TFP selon la taille de l'entreprise

En règle générale, toutes les enquêtes disponibles signalent le lien qui existe entre la taille de l'entreprise et l'utilisation des TFP, ainsi que le montre le tableau 3.7. Une série d'enquêtes sur l'innovation dans les entreprises manufacturières, menées par Landry *et al.* dans différentes régions du Québec, confirme que le nombre de technologies avancées augmente avec la taille de l'entreprise (tableau 3.8).

Tableau 3.7
Taux d'utilisation des TFP en 1998, selon la taille de l'usine

	Nombre d'employés			
	10-49	50-99	100-249	>250
Pourcentage de toutes les usines selon la catégorie de taille	68,3%	14,7%	11,3%	5,7 %
Utilisation d'une TFP ou plus	69 %	89 %	95 %	99 %
Utilisation de cinq TFP ou plus	34 %	59 %	77 %	96 %
Nombre moyen de TFP utilisées	3,8	6,1	8,6	12,8

Source : Anthony Arundel et Viki Sonntag, *Modèles d'utilisation des technologies de fabrication de pointe (TFP) dans l'industrie canadienne de la fabrication*, 1999, p. 19.

Tableau 3.8
Indice d'utilisation des technologies avancées selon la taille de l'entreprise (nombre moyen de technologies avancées différentes qui sont utilisées)

Nombre d'employés	Estrie 1998	Montréal 2000	Chaudière-Appalaches 2000	Québec 2000
1-4		1,98	0,65	1,17
5-20	1,58	4,07	1,68	1,93
21-50		6,05	2,52	3,13
51-100	4,05	8,58	4,07	4,03
>100	4,05	10,09	5,58	5,02

Source : Réjean Landry *et al.*, enquêtes diverses, 1999, 2000.

Les ressources financières limitées des petites entreprises seraient généralement la cause de cet écart. Les PME disposant de moins de ressources techniques et financières, l'investissement en nouvelles technologies représente une part plus importante de leur budget, donc un risque plus grand. Les grandes entreprises sont en mesure de répartir ce risque sur un plus grand nombre de produits. Baldwin observe d'ailleurs un rapport positif, bien que non significatif, entre la taille des établissements et l'adoption d'une technologie¹⁰⁰. L'effet de la taille sur l'adoption des technologies s'estompe dès que le seuil de 500 employés est atteint.

¹⁰⁰ John R. Baldwin et Mohamed Rafiqzaman, *Les facteurs déterminants des retards en matière d'adoption des technologies de fabrication de pointe*, 1998, 34 p. (p. 25). Ce constat repose sur les données de l'enquête de 1993 et sur une segmentation des entreprises en trois groupes (moins de 100 employés, entre 100 et 500, 500 et plus).

Une autre étude¹⁰¹ portant sur un échantillon de 118 PME canadiennes permet de broser un portrait plus récent et mieux adapté au milieu de la PME (tableau 3.9). Les comparaisons avec les enquêtes de Statistique Canada s'avèrent difficiles en raison, par exemple, d'un choix différent des technologies soumises aux répondants. Si le dessin assisté par ordinateur est bien implanté, la CAO et la FAO restent encore relativement peu utilisées (36 % et 37 % respectivement). Les automates programmables, en revanche, sont assez communs (61 %), ce qui contraste fortement avec les données de l'enquête de 1998 (37 %). Cette technologie a connu un essor mondial important vers la fin des années 1990, une indication que le paysage technologique peut changer de manière extrêmement rapide.

L'une des particularités de cette étude est qu'elle mesure la maîtrise des technologies par les entreprises, plutôt que seulement leur taux de pénétration. De manière générale, les technologies matérielles sont mieux maîtrisées que les technologies logicielles vouées à la coordination des opérations, une tâche plus complexe. On peut y voir un indice d'une réalité plusieurs fois mentionnée voulant que l'adoption de technologies matérielles, des « machines », ne constitue pas un problème aussi sérieux pour les PME que l'informatisation des activités liées à des aspects plus immatériels comme la gestion du personnel, la gestion des ressources ou la commercialisation par exemple. Les activités de fabrication, qui reflètent le métier, sont généralement assez bien maîtrisées.

Tableau 3.9
Présence et maîtrise des technologies et applications avancées de fabrication

Technologie	Présence (%)	Maîtrise*
Dessin assisté par ordinateur	62 %	3,7
Équipements contrôlés par automates programmables	61 %	4,0
Fabrication assistée par ordinateur (FAO)	37 %	3,5
Conception assistée par ordinateur (CAO)	36 %	3,3
Opérations robotisées	34 %	3,4
Machines à contrôle numérique (CN)	32 %	3,8
Manipulation automatisée des matériaux	30 %	3,4
Conception et fabrication assistées par ordinateur (CAO/FAO)	21 %	3,6
Systèmes manufacturiers flexibles (SMF)	13 %	3,6
Application		
Gestion des stocks assistée par ordinateur	63 %	3,6
Codes à barres	36 %	3,3
Entretien assisté par ordinateur	31 %	3,1

¹⁰¹ Louis Raymond et Marie Marchand, *op. cit.*

Tableau 3.9 (suite)

Technologie	Présence (%)	Maîtrise*
Application (suite)		
Échéancier de fabrication	30 %	3,6
Planification des besoins-matières (MRP)	28 %	3,4
Système de gestion intégré (ERP)	25 %	3,5
Échange de données informatisées (EDI)	21 %	3,8
Management des ressources de production (MRP II)	15 %	3,3
* Niveau perçu de maîtrise de la technologie ou de l'application utilisée (de bas [1] à élevé [5])		

Source : Louis Raymond et Marie Marchand, *Les systèmes avancés de fabrication dans les PME : congruence et performance*, 2004.

Les TFP peuvent cependant être assez coûteuses et hors de portée des PME. Plusieurs autres études sur l'implantation des nouvelles technologies rendent compte d'un écart important entre les PME et la grande entreprise. Une revue de ces études conclut que ces retards sont généralement attribués à la difficulté pour les PME de¹⁰² :

- mobiliser les ressources financières et humaines;
- se doter de services-conseils externes;
- utiliser les TI à des fins stratégiques (et non seulement pour des considérations de court terme);
- comprendre les bénéfices issus de l'implantation des TI.

L'une des principales faiblesses de ces études, cependant, selon les auteurs de cette revue, résiderait dans une méconnaissance des conditions de production auxquelles doivent faire face les PME.

La complexité de la production serait le principal incitatif à l'adoption des TFP¹⁰³. Plus précisément, l'adoption des TFP par une PME est le résultat d'une combinaison entre la complexité des produits manufacturés et la position occupée dans la chaîne de valeur qui exprime la complexité des échanges et du système de production. Plus le système de production est complexe, plus l'utilisation des TFP est forte. Plus le produit est simple, moins on utilise de TFP. En revanche, plus un produit est complexe et plus il semble difficile d'implanter des TFP en raison des difficultés de la PME à mobiliser les ressources qui les accompagnent (main-d'œuvre rare, difficultés d'opération...).

Un produit complexe agit donc comme un empêchement à l'utilisation de TFP par les PME en raison

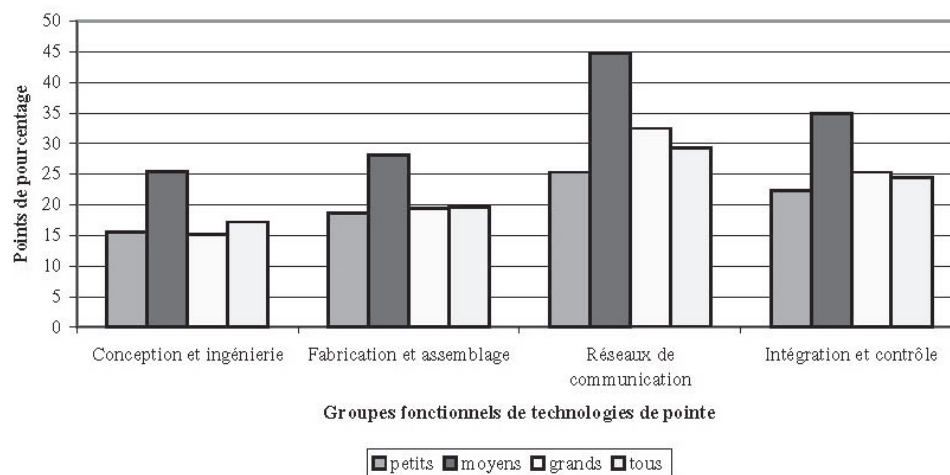
¹⁰² Maria Corso *et al.*, « Information and communication technologies in product innovation within SMEs – The role of product complexity », *Enterprise and Innovation Management Studies*, vol. 2, no 1, 2001, p. 25-48.

¹⁰³ *Ibid.*

des difficultés majeures d'implantation. Un système complexe agit à l'opposé en raison du besoin primordial d'intégration avec les clients et les partenaires. Ces résultats semblent en contradiction avec la maîtrise des technologies matérielles par les PME et leur relative difficulté à implanter des technologies de coordination. On peut en conclure que l'insertion dans un réseau de production de produits complexes est plus importante pour la PME que l'acquisition de technologies sophistiquées. Une fois cette insertion réussie, la PME mise sur ses compétences et sur sa créativité pour livrer sa part de production en adaptant ou en modifiant au besoin un équipement existant.

Par ailleurs, l'examen de la croissance de l'utilisation des technologies de pointe révèle que, durant la période allant de 1993 à 1998, ce sont les entreprises de taille moyenne (définies comme ayant de 50 à 249 employés) qui ont connu les taux de croissance les plus élevés, dans tous les groupes fonctionnels, réduisant l'écart qui les séparait des grandes entreprises (voir figure 3.3). On pourrait y voir un indice de la concentration de la valeur de la production dont nous avons parlé précédemment dans ce type d'entreprise.

Figure 3.3
Croissance de l'utilisation des technologies de pointe par tranche de taille
1993 à 1998



Note : Les petits, moyens et grands établissements sont définis comme ayant de 0 à 49 employés, de 50 à 249 employés et 250 employés et plus respectivement.

Source : John R. Baldwin, Ed Rama et David Sabourin, *Croissance de l'utilisation des technologies de pointe dans le secteur canadien de la fabrication durant les années 90*, 1999, 34 p.

Le dernier rapport annuel sur l'innovation du Conference Board¹⁰⁴ du Canada insiste sur le rôle que

¹⁰⁴ Conference Board of Canada, *Don't Overlook the « MEs: Medium-Sized Firms Show the Way to Global Success »*, 2005, 22 p.

les moyennes entreprises sont appelées à jouer sur la scène internationale. Partant du principe que l'émergence de grandes entreprises au Canada reste un phénomène marginal, le Conference Board suggère d'adopter des mesures ciblées en faveur des entreprises de taille moyenne qui apparaissent négligées par les politiques publiques. Ces entreprises sont en mesure d'occuper des niches spécialisées, elles sont généralement tournées vers l'exportation et disposent de ressources assez importantes, ce qui leur permet d'occuper des positions de commande dans certaines chaînes de valeur au niveau mondial. D'autres informations tendent également à indiquer que la fonction d'intégration jouée par ce type d'entreprises serait déficiente au Québec, peu d'entreprises étant prêtes à assumer ce rôle¹⁰⁵.

Or, selon certains auteurs¹⁰⁶, cette fonction intégratrice est appelée à se développer de façon importante dans l'avenir. Alors que la fonction de production continuera à migrer vers les pays en émergence, les entreprises intégratrices demeureront dans les pays avancés afin d'exploiter la proximité de leur base de savoir, en particulier les compétences en TIC, qui permettent la codification des produits, l'organisation logistique et le contrôle de la chaîne de valeur. Le savoir stratégique se retrouvera de plus en plus dans les activités de conception, de contrôle et d'intégration, activités assimilées généralement au secteur des services. Le passage à ces nouvelles fonctions revêt, pour une entreprise, un caractère extrêmement risqué qui mérite une attention particulière sur le plan de l'accompagnement ou du soutien public à l'innovation.

2.3 Utilisation des TFP selon le secteur industriel et le type de production

Une des principales faiblesses des classifications des industries sur la base du savoir ou sur l'utilisation de la technologie est qu'elles considèrent généralement chaque secteur comme étant homogène. Il existe bien sûr des différences sectorielles marquées dans l'utilisation des TFP. Les industries spécialisées dans la production de pièces d'ingénierie comptent parmi les principaux utilisateurs de ces technologies. Toutefois, à l'intérieur d'un secteur donné s'établit une hiérarchie de l'utilisation des technologies en fonction du type de produit et de l'étape du processus de production considérés. Certaines entreprises d'un secteur qualifiées de « faible utilisateur de technologie » peuvent donc utiliser plus de TFP qu'une entreprise de taille comparable qui est présente, par exemple, dans un secteur qualifié de « fort ». Le tableau 3.10 donne les pourcentages des établissements utilisant les TFP par groupe fonctionnel et grand secteur industriel pour l'enquête de 1998. Les secteurs du papier, de la première transformation des métaux et des produits électroniques affichent en règle générale les taux d'adoption les plus élevés. L'enquête du CRIQ donne sensiblement les mêmes résultats pour le Québec.

L'industrie de la boisson affiche ainsi le plus fort pourcentage d'établissements utilisant les réseaux de communication. En revanche, elle se classe parmi les dernières dans le groupe de la conception et

¹⁰⁵ Voir à ce sujet Martin Jolicoeur, « L'aérospatiale québécoise cherche le chaînon manquant », *Les Affaires*, 25 juin 2005, p. 5.

¹⁰⁶ Keith Pavitt, *Systems Integrators as Post-industrial Firms?*, SPRU, 2002.

de l'ingénierie. Plutôt que de traduire un « retard » dans l'adoption de ces technologies il s'agit sans doute plutôt d'une particularité propre à l'industrie. On conçoit aisément que l'utilisation de la CAO, une technologie étroitement associée au design et à la conception, y soit moins répandue que dans les industries du matériel de transport ou de la machinerie par exemple. Ces dernières industries sont basées sur la conception, la fabrication et l'assemblage de différentes composantes mécaniques qui sont représentées par des dessins techniques. Les deux industries utilisent également des procédés de fabrication différents. Les mêmes remarques pourraient s'appliquer aux différences dans l'utilisation de la manutention automatisée des matières entre le secteur des produits pétroliers et celui du matériel de transport.

Les taux d'adoption des différentes technologies ne donnent donc qu'une image imparfaite de leur utilité. Les avantages liés à leur utilisation nécessitent un examen plus approfondi, qui tienne compte des particularités de chaque secteur, et même de chaque sous-secteur. Par exemple, dans l'industrie de transformation des aliments, qui a fait l'objet d'une enquête spécifique, on constate que les technologies utilisées peuvent varier énormément selon que l'on traite des matières animales ou végétales¹⁰⁷.

Les différences en matière de systèmes de production sont également très marquées, comme l'indique le tableau 3.10. Ces écarts se vérifient également au niveau local, mais leur examen reste problématique.

Même si l'on convient de façon générale que l'utilité des technologies particulières diffère selon la branche d'activité, il n'existe pas de cadre couramment utilisé pour l'analyse de ces différences. Les classifications d'industries fondées sur le type de système de production fournissent des réponses distinctes de celles des systèmes de classification fondés sur le secteur. Par exemple, les fabricants de pièces distinctes des secteurs des matières plastiques et de l'automobile utilisent des procédés de production similaires, mais sont affectés à des secteurs différents¹⁰⁸.

¹⁰⁷ John Baldwin, David Sabourin et David Smith, *Effet de l'utilisation des technologies de pointe sur le rendement des entreprises du secteur canadien de la transformation des aliments*, 2003, 49 p.

¹⁰⁸ Anthony Arundel et Viki Sonntag, *Modèles d'utilisation des technologies de fabrication de pointe (TFP) dans l'industrie canadienne de la fabrication*, 1999, p. 14.

Tableau 3.10
Utilisation des TFP par groupe fonctionnel et secteur industriel selon l'enquête de 1998

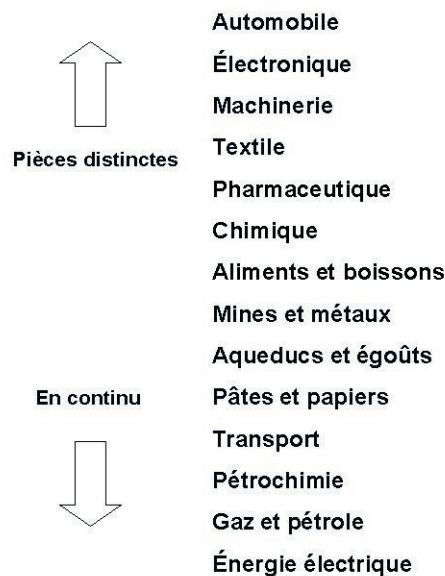
INDUSTRIE	Conception et ingénierie	Traitement, fabrication, assemblage	Manutention automatisée des matières	Inspection	Réseaux de communication	Intégration et contrôle
(Pourcentage des établissements)						
Boissons	34	65	40	34	77	77
Produits en caoutchouc	50	64	23	18	49	51
Produits en plastique	51	68	23	21	54	59
Cuir et produits connexes	38	33	19	3	37	42
Textiles de première transformation	49	54	45	38	69	70
Produits textiles	29	39	18	13	48	51
Habillement	33	22	17	6	34	36
Bois	37	53	18	13	34	43
Meubles et articles d'ameublement	43	37	16	6	36	37
Papier et produits connexes	55	63	41	33	66	66
Imprimerie, édition et industries connexes	36	30	16	12	58	45
Première transformation des métaux	80	67	30	29	62	61
Fabrication des produits métalliques	71	56	10	14	52	54
Machinerie	70	60	19	20	61	60
Matériel de transport	66	55	40	33	56	58
Produits électriques et électroniques	79	59	27	23	71	72
Produits minéraux non métalliques	38	49	15	11	39	53
Produits raffinés du pétrole et du charbon	42	33	16	21	33	51
Produits chimiques	36	48	22	24	65	58
Autres industries manufacturières	52	42	15	10	49	43

Source : David Sabourin et Desmond Beckstead, *Adoption de la technologie dans le secteur de la fabrication au Canada*, Statistique Canada, 1998, 85 p.

La nature des systèmes de production aura donc une influence marquée sur l'utilisation des TFP, comme le laissait supposer notre revue des modes de production. Les systèmes de production se divisent en deux grandes catégories : les systèmes de production de pièces distinctes et les systèmes

de production en continu. Chaque industrie utilise des systèmes qui lui sont propres (figure 3.4). Dans la réalité, la plupart des usines utilisent des systèmes mixtes qui combinent les deux procédés.

Figure 3.4
Types de systèmes de production utilisés par certaines industries



Source : H. Kirrmann, *Types of Plants and Control*, 2005
[http://lamspeople.epfl.ch/kirrmann/Slides/AI_130_Plants&Control.ppt]

Les systèmes de production de pièces distinctes se subdivisent à leur tour en systèmes de production de masse à faible valeur ajoutée (« non-ingénierie ») et en systèmes de production à haute valeur ajoutée (« ingénierie »). Une production sur mesure de pièces distinctes complexes fera davantage appel à des machines-outils flexibles, qu'il est possible de reconfigurer rapidement à la suite des demandes variables de la clientèle; quant au mode de production de masse en continu, il sera davantage orienté vers des technologies de gestion automatisée des stocks par exemple. Le tableau 3.11 confirme ces différences. En somme, la production de pièces à forte valeur ajoutée commande une utilisation plus intensive des TFP, alors que la faible valeur ajoutée peut constituer un obstacle à leur utilisation. On retrouve, ici, l'opposition entre standardisation et spécialisation.

Tableau 3.11
Taux d'utilisation des TFP selon le système de production

Pourcentage des usines utilisant le système	Système de production			
	Procédé en continu	Pièces distinctes Non-ingénierie	Pièces distinctes Ingénierie	Système mixte
	12,4	30,2	37,9	19,4
Utilisation d'une TFP ou plus	75 %	67 %	85 %	75 %
Utilisation de cinq TFP ou plus	48 %	34 %	57 %	40 %
Nombre moyen de TFP utilisées	5,5	4,0	6,3	4,6

Source : Anthony Arundel et Viki Sonntag, *Modèles d'utilisation des technologies de fabrication de pointe (TFP) dans l'industrie canadienne de la fabrication*, 1999, (p. 19).

Ces résultats viennent appuyer l'idée que les données très agrégées, comme les taux d'adoption de TFP, peuvent masquer des réalités sectorielles très différentes et conduire à des interprétations trop rapides en termes de « retards » technologiques. La base de savoir conduisant à des activités d'innovation ou d'acquisition de technologies peut être extrêmement différente d'un secteur à l'autre. Comme on l'a vu au chapitre deux, le produit manufacturé est le résultat de l'interaction complexe entre le mode de conception et de fabrication du produit, l'organisation de la production et un ensemble d'institutions, ce qui peut conduire à la création de véritables « systèmes sectoriels d'innovation¹⁰⁹ ».

2.4 L'utilisation des TFP et la stratégie d'entreprise

Ainsi qu'il a été dit plus haut, l'adoption des TFP ne peut, à elle seule, garantir le succès de l'entreprise. Au contraire, et de façon générale, l'identification d'un ensemble restreint de stratégies gagnantes demeure suspecte, puisque l'innovation repose sur un ensemble complexe de stratégies. Une des conclusions qui s'imposent cependant est que les stratégies organisationnelles sont une clé pour actualiser le potentiel des technologies. Pour être efficace, l'adoption de technologies de pointe doit s'accompagner de changements dans les pratiques organisationnelles et s'intégrer à la stratégie d'affaires de l'entreprise.

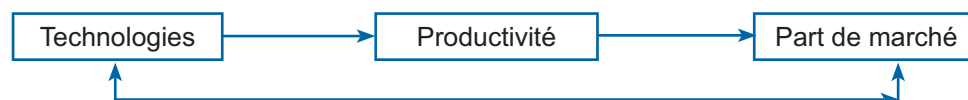
Deux grands courants de pensées dominent l'étude de la stratégie d'entreprise. L'approche de l'organisation industrielle (*Industrial organisation view*) considère que les stratégies sont dictées par les conditions extérieures imposées à l'entreprise par son secteur d'activité, son environnement et le marché. Dans ce cadre, les technologies ne représentent qu'un outil pour mener à bien les stratégies de l'entreprise.

¹⁰⁹ Voir à ce sujet Franco Malerba, « Sectoral systems of innovation : A framework for linking innovation to the knowledge base, structure and dynamics of sectors », *Economics of Innovation and New Technology*, 2005, vol. 14, p. 63-82.

Dans l'approche fondée sur les ressources (*Resource-based view*), ce sont les ressources internes de l'entreprise qui déterminent les avantages comparatifs et la stratégie à adopter. La technologie constitue l'une des ressources disponibles et peut influencer les décisions stratégiques.

Suivant le modèle employé dans les études de Statistique Canada, l'utilisation des technologies aurait une influence indirecte sur la performance de l'entreprise (mesurée par la part de marché de cette dernière) en contribuant à augmenter la productivité; elle aurait également une influence directe en raison de l'innovation en matière de produits que les technologies permettent (figure 3.5). L'introduction de nouvelles technologies pourrait donc modifier en quelque sorte la stratégie de l'entreprise en orientant celle-ci vers de nouveaux produits et éventuellement de nouveaux marchés.

Figure 3.5
Les liens entre l'utilisation des technologies et les performances de l'entreprise



Source : John R. Baldwin et David Sabourin, *Effet de l'évolution de l'utilisation des technologies sur le rendement des établissements dans le secteur de la fabrication au Canada*, 2004, 44 p.

Bien que l'acquisition de technologies demeure une pièce maîtresse de la stratégie d'entreprise, les auteurs signalent que les entreprises qui améliorent leur performance mettent l'accent sur toute une gamme de compétences.

Ces liens intrinsèques entre l'adoption de technologies de fabrication de pointe et les autres stratégies de l'entreprise ont fait l'objet d'une étude qui conclut que les TFP ne peuvent être traitées de manière uniforme¹¹⁰. Dans le cadre de cette étude, une stratégie simple vise soit à introduire de nouveaux produits, soit à pénétrer de nouveaux marchés. Une stratégie complexe consiste à utiliser simultanément les deux approches. Certaines technologies, comme la CAO ou les MOCN, peuvent être introduites de façon graduelle et résultent normalement en un accroissement rapide de la productivité. Ces technologies sont associées à des stratégies d'affaires dites simples. Inversement, des technologies de haut niveau, le plus souvent de nature organisationnelle, comme la gestion de la qualité (*Total Quality Management*) ou la production intégrée (*Computer-integrated Manufacturing*) sont associées à des entreprises adoptant une stratégie d'affaires complexe. Ces technologies mettent en réseau les différentes unités administratives et ont un impact sur les flux de données ou de matériaux.

L'influence de l'utilisation des technologies sur la stratégie d'affaires ne serait qu'indirecte, confirmant le modèle décrit plus haut. Toutefois, l'implantation de technologies de haut niveau (donc plus difficiles à maîtriser) conduit à un résultat paradoxal : elle permet de consolider la position des entreprises qui

¹¹⁰ Nola Hewitt-Dundas, *The Adoption of Advanced Manufacturing Technology and Strategic Complexity*, 2000, 34 p.

poursuivaient une stratégie complexe, alors qu'une telle implantation est associée à une diminution de la croissance chez les entreprises qui poursuivaient une stratégie simple. On conclut de ces résultats divergents que l'implantation de telles technologies nécessite un environnement organisationnel propice à leur déploiement.

L'utilisation des TFP dans un seul esprit de diminution des coûts de production risque donc d'avoir un effet limité sur les performances de l'entreprise. La littérature sur le sujet, tout comme les études empiriques, semble démontrer que c'est dans l'optimisation d'un ensemble de variables organisationnelles et technologiques que réside le succès des entreprises.

Dans le contexte actuel, une entreprise qui chercherait à soutenir la compétition en s'appuyant uniquement sur les coûts dans un marché de produits peu complexes pourrait faire des choix technologiques cohérents avec cette stratégie; toutefois, les risques d'échecs seraient grands en raison des bas coûts de main-d'œuvre des pays en émergence comme la Chine et des faibles barrières à l'entrée qui permettent l'arrivée continue de nouveaux compétiteurs. De la même façon, une telle stratégie qui ferait appel à un équipement de production flexible et à des technologies organisationnelles complexes aurait de fortes probabilités d'échouer.

Une étude comparative portant sur deux secteurs manufacturiers traditionnels, le textile et l'acier, conclut dans le même sens. L'adoption de procédés manufacturiers radicalement nouveaux modifie la structure du marché. S'il y a concordance entre l'adoption de ces nouveaux procédés et la stratégie de l'entreprise, en termes d'échelle des opérations, d'intégration verticale et de différenciation des produits, l'introduction de nouveaux procédés consolide la position de l'entreprise. En cas de discordance, elle augmente sa vulnérabilité¹¹¹.

Le tableau 3.12 donne les objectifs poursuivis par les entreprises qui ont investi dans les TFP selon l'enquête menée par le CRIQ.

¹¹¹ Vincent Sabourin, « Barriers to the strategic adoption of revolutionary manufacturing processes », *Journal of Technology Transfer*, vol. 23, no 3, 1998, p. 59-66.

Tableau 3.12
Objectifs de l'introduction de TFP au cours des trois dernières années
(chez les répondants ayant introduit des TFP)

Technologie	Total des mentions (%)
Augmentation de la capacité de production	47,4
Meilleure qualité	27,2
Rentabilité accrue	15,3
Réduction du temps de production par unité produite	13,8
Réduction des coûts (main-d'œuvre, matières premières, énergie)	7,7
Réduction du taux de rejet	3,9
Plus grande souplesse dans la production	3,4
Diminution des rejets environnementaux	1,0
Introduction de nouveaux produits	4,9
Hausse des parts de marché	5,4
Répondre à une demande des clients	2,2
Meilleur suivi, inspection, contrôle	5,3
Augmentation et amélioration de l'équipement automatisé	8,5
Accroissement de la compétitivité	4,1
Autres	3,4

Source : Centre de recherche industrielle du Québec, *Étude sur les besoins technologiques des entreprises manufacturières du Québec* 2002.

Au regard de notre revue de littérature, il peut apparaître un peu inquiétant que l'adoption de TFP ne corresponde qu'à 4,9 % des mentions pour l'introduction de nouveaux produits et à 5,4 % pour la hausse des parts de marché. Les objectifs poursuivis par les entreprises sont nettement liés à l'augmentation de la productivité (réduction des coûts et des temps de production) et des capacités de production. La recherche d'une meilleure qualité, une stratégie en phase avec les nouvelles conditions de production, arrive cependant en deuxième position. Il est à noter qu'une très grande majorité des entreprises (91,6 %) sont satisfaites de l'introduction des TFP, une proportion qui semble bien occulter les échecs d'implantation plusieurs fois mentionnés dans la littérature. Rappelons que l'enquête du CRIQ porte essentiellement sur les technologies matérielles et que les technologies complexes de coordination, comme les ERP, semblent relativement peu diffusées au Québec. On peut conclure que les technologies dédiées à la fabrication, qui reflètent les savoir-faire issus des métiers, sont relativement bien maîtrisées par les entreprises (notamment les PME). Celles-ci connaissent et maîtrisent leur processus de fabrication. Elles sont, de plus, capables d'en mesurer les effets directs, notamment l'augmentation de la productivité.

Elles sont toutefois moins à l'aise avec les technologies matérielles plus complexes et les TFP de coordination. Raymond conclut d'ailleurs que les PME manufacturières sont relativement peu sophistiquées dans l'adoption de technologies visant l'automatisation de leur production et de systèmes

de gestion des opérations¹¹². Celles qui maîtrisent le plus ces technologies sont celles qui participent à une production plus complexe qui requiert des connaissances plus approfondies en planification et en gestion.

Il serait tentant d'établir un lien de causalité directe entre l'acquisition de technologies complexes de coordination ou de fabrication et l'augmentation des performances globales de l'entreprise. Les gains de productivité observés lors de l'implantation de technologies matérielles seraient simplement reconduits à un niveau de complexité supérieur. Cependant, une telle démarche élude tout le processus d'accumulation, au sein de l'entreprise, des connaissances nécessaires au choix, à l'implantation et à l'utilisation optimale des technologies. C'est en fait la maîtrise des procédés de fabrication qui permet l'implantation réussie des technologies matérielles.

Dans un mode de production plus complexe où la mesure de bénéfices intangibles prend autant d'importance que l'augmentation de la productivité, par exemple, l'adoption de TFP doit s'aligner avec la stratégie d'affaires de l'entreprise. Cette dernière nécessite une connaissance très fine des produits, des chaînes de valeur », des marchés et des capacités des concurrents. Une étape d'accumulation de savoirs potentiels dans l'entreprise est donc préalable au déploiement de technologies qui viendront supporter la stratégie d'affaires choisie. Ces différents savoirs, qui stimuleront les capacités d'innovation, ne résident d'ailleurs pas seulement au sein d'entreprises individuelles, mais dans un réseau complexe d'intervenants (entreprises, sous-traitants, centre de recherches, consultants...) détenteurs chacun d'un savoir spécialisé.

Selon une étude empirique, ce serait la cohésion entre les orientations stratégiques et l'organisation de l'entreprise qui favoriserait une bonne performance, en présence ou en l'absence d'innovation¹¹³. En l'absence d'une stratégie adéquate, l'innovation pourrait ne pas être associée à la performance. On peut penser qu'il en va de même pour l'acquisition de technologies, une des composantes de l'innovation.

2.5 Utilisation des TFP au Québec

Malgré un rattrapage important durant la période de 1993 à 1998, le Québec se classe toujours en deçà de la moyenne canadienne d'utilisation des TFP (tableau 3.13). À première vue, ces chiffres semblent confirmer les retards maintes fois décriés dans l'investissement en machines et en équipement. Toutefois, cet écart semble diminuer en fonction du nombre de technologies utilisées simultanément, ce qui pourrait refléter la plus grande place occupée par les PME au Québec comparativement à l'Ontario. Le Québec se hisse également au premier rang en ce qui a trait à l'utilisation simultanée d'un grand nombre de technologies.

¹¹² Louis Raymond, « Profil de l'informatisation de la production et de la gestion des opérations dans les PME manufacturières québécoises », *InfoPME*, 2001, vol. 1, no 2.

¹¹³ Josée St-Pierre et Claude Mathieu, *L'innovation de produit chez les PME manufacturières : organisation, facteur de succès et performance*, ministère des Finances du Québec, 2003, 58 p.

Tableau 3.13
Nombre de technologies de pointe utilisées par région

Région	Nombre de technologies utilisées (pourcentage des établissements)					
	Au moins une		de 5 à 9		10 et plus	
	1993	1998	1993	1998	1993	1998
Atlantique	41	69	8	21	0,5	6
Québec	36	70	10	24	1,5	9
Ontario	58	78	16	29	2,1	7
Prairies	44	72	9	24	0,4	8
Colombie-Britannique	40	68	5	18	0	5
Canada	47	74	12	26	1,5	7

Source : Po-Chih Leei, Darlene Murphy et Steven Tzeferakosz, *Performance du secteur manufacturier canadien*, 2001, 77 p.

Note : Pour des raisons méthodologiques touchant l'échantillonnage, ces données diffèrent de celles publiées dans le *Tableau de bord du système d'innovation québécois*, édition 2005.

La ventilation de l'utilisation des technologies par grand groupe fonctionnel trace le même portrait pour le Québec (tableau 3.14). Ce qui peut sembler un recul au chapitre de la manutention pourrait tout aussi bien être interprété comme un passage à une production sur demande nécessitant moins de gestion d'inventaires. À nouveau, cet exemple montre qu'il est difficile de se fonder sur des données fortement agrégées qui occultent les réalités sectorielles, les différents modes de production et la structure industrielle. Il importe de savoir quelles sont les technologies stratégiques permettant une amélioration du processus de production pour un secteur donné. Il est également important de considérer la position relative des entreprises dans la chaîne de valeur, le choix des technologies dépendant de la complexité des produits et du système de production.

Tableau 3.14
Adoption de technologies de pointe par groupe fonctionnel, par région

Région	Groupes fonctionnels (pourcentage des établissements)											
	Conception et ingénierie		Traitement, fabrication et montage		Manutention automatisée des matériaux		Inspection		Réseaux de communication		Intégration et contrôle	
	1993	1998	1993	1998	1993	1998	1993	1998	1993	1998	1993	1998
Atlantique	34,8	51,4	16,3	35,7	2,7	6,6	5,7	7,5	14,5	41,2	14,3	43,7
Québec	27,6	45,8	18,4	43,8	3,7	4,4	6,3	10,9	15,5	40,5	18,3	50,8
Ontario	44,6	56,3	33,4	46,0	5,7	5,5	13,5	14,1	22,3	51,9	30,9	50,0
Prairies	35,8	49,8	15,6	40,1	2,2	7,8	9,1	14,8	14,3	51,4	21,5	44,7
Colombie-Britannique	28,3	44,9	16,3	42,1	0,5	4,0	5,5	7,4	12,1	37,8	16,0	39,7
Canada	36,6	51,4	24,4	44,1	4,0	5,3	9,9	12,7	18,0	46,9	23,9	48,5

Source : Po-Chih Leei, Darlene Murphy et Steven Tzeferakosz, *Performance du secteur manufacturier canadien*, 2001, 77 p. (p. 53).

Le tableau 3.15 compare les taux d'adoption des TFP en fonction de la taille d'entreprise pour le Québec, l'Ontario et l'ensemble du Canada.

On remarque un écart assez important entre le Québec et l'Ontario chez les plus petites entreprises (64 % vs 76 %). L'écart s'amenuise en fonction d'un accroissement de la taille de l'entreprise, devenant relativement faible chez les entreprises de plus de 250 employés (95,8 % vs 98,1 %). Malgré ce qui précède, le Québec enregistre toujours des taux d'utilisation inférieurs à ceux de l'Ontario et de la moyenne canadienne. L'utilisation simultanée de plusieurs technologies suit la même progression, bien que l'écart soit un peu plus prononcé. Là où la différence apparaît la plus substantielle, c'est dans le pourcentage d'entreprises qui investissent de façon plus marquée dans les TFP. Une proportion plus grande d'entreprises ontariennes consacrent plus de 25 % de leurs achats totaux en matériel et outillage à l'acquisition de TFP. L'écart par rapport à la moyenne canadienne est également assez important, surtout chez les petites entreprises. À nouveau, l'écart avec l'Ontario s'amenuise à mesure que la taille de l'entreprise augmente, mais il atteint tout de même près de 25 % dans la plus grande entreprise (31,4 % vs 41,6 %). Cette mesure porte sur l'acquisition de TFP au cours des trois années précédant l'enquête. Or, l'analyse des données globales indique qu'un investissement élevé en TFP aura une influence marquée sur l'adoption ultérieure de technologies. Une proportion plus faible d'entreprises qui investissent dans les TFP au Québec, au profit possiblement de matériel et d'équipement conventionnels, risque d'avoir une incidence sur la capacité des entreprises à suivre l'évolution rapide de ces technologies, donc de les exposer à un déficit de connaissances à long terme. D'ailleurs la formation technique continue, qui favorise un accroissement des connaissances au sein de l'entreprise, augmente fortement la proportion des investissements dans les TFP, surtout pour les petites usines¹¹⁴.

Cette observation rejoint l'une des conclusions de l'enquête menée par le CRIQ, qui relève une contradiction dans la perception que les PME québécoises ont de leur performance. Les PME se jugent ainsi assez productives par rapport à leurs concurrents, tout en affirmant, dans une proportion de plus des deux tiers, que de meilleurs équipements existent sur le marché. L'état de connaissance des entreprises quant aux bénéfices que pourraient apporter les TFP apparaît incertain.

¹¹⁴ Anthony Arundel et Viki Sonntag, *op. cit.*

Tableau 3.15
Taux d'adoption des TFP en fonction de la taille de l'entreprise pour le Québec, l'Ontario et l'ensemble du Canada selon l'enquête de 1998

	10-49			50-99			100-249			250+		
	Qué	Ont	Can	Qué	Ont	Can	Qué	Ont	Can	Qué	Ont	Can
Utilisation d'une TFP ou plus	64,3	76,0	69,7	88,4	87,9	87,7	92,1	96,7	95,3	95,8	98,1	97,7
Utilisation de cinq TFP ou plus	32,0	40,7	35,2	50,9	60,5	57,3	74,8	77,9	77,6	89,2	93,4	91,8
Utilisation de TFP à maturité seulement	60,1	72,6	65,6	86,3	87,7	86,8	89,9	95,4	94,0	94,6	97,3	96,7
Investissement dans les TFP > 25 % de l'investissement total de l'usine	15,3	31,9	24,1	25,7	36,0	32,1	22,1	42,4	33,2	31,4	41,6	37,5
Nombre moyen de TFP utilisées	3,8	4,5	3,9	5,7	6,8	6,3	8,6	9,0	8,9	11,3	12,6	11,9

Source : Statistique Canada

Le tableau 3.16 compare l'utilisation des TFP entre le Québec, l'Ontario et le reste du Canada en fonction du système de production. L'écart le plus important se situe au niveau des systèmes de production de pièces distinctes d'ingénierie, le secteur qui est le plus à même d'utiliser ces technologies. On peut y voir l'effet de l'importance du secteur automobile ontarien. L'industrie aérospatiale, plus présente au Québec, est beaucoup moins avancée en matière d'automatisation des procédés que l'industrie automobile. À nouveau, la faible proportion des investissements en TFP est commune à tous les secteurs de production. Cependant, l'enquête du CRIQ (réalisée en 2001) révèle que les intentions d'acquisition de TFP sur un horizon de trois ans portaient principalement sur la robotique (33,2 % des mentions), les automates programmables (14 %) et les systèmes d'assemblage automatisés (10,6 %). Il semble que le processus de rattrapage se poursuive.

Tableau 3.16
Taux d'adoption des TFP en fonction du système de production pour le Québec, l'Ontario et l'ensemble du Canada

	Système de production											
	En continu			Pièces distinctes Non-ingénierie			Pièces distinctes Ingénierie			Système mixte		
	Qué	Ont	Can	Qué	Ont	Can	Qué	Ont	Can	Qué	Ont	Can
Utilisation d'une TFP ou plus	72,8	80,1	74,6	66,1	71,9	67,3	78,1	88,9	84,9	75,1	74,5	75,1
Utilisation de cinq TFP ou plus	42,6	51,7	47,7	31,2	36,5	34,0	53,9	61,9	57,0	44,6	37,5	40,1
Utilisation de TFP à maturité seulement	12,2	15,7	13,5	14,1	14,4	15,1	14,7	19,9	18,0	14,6	21,9	19,2
Investissement dans les TFP > 25 %	10,3	24,2	19,0	16,2	26,2	20,5	23,8	40,9	33,2	19,0	34,2	29,7
Nombre moyen de TFP utilisées	5,1	5,8	5,5	3,8	4,5	4,0	6,0	6,9	6,3	5,2	4,3	4,6

Source : Statistique Canada

3. Obstacles à l'adoption des technologies de fabrication de pointe

Plusieurs modèles de diffusion technologiques ont été proposés pour tenter d'expliquer les décalages observés dans l'adoption de nouvelles technologies par différentes entreprises¹¹⁵. L'un des modèles dominants postule que la décision d'acquérir une technologie est fonction d'un certain nombre de caractéristiques (taille, âge de l'équipement, coûts d'apprentissage) propres à chaque entreprise. L'adoption de technologies dépend en dernière analyse des bénéfices que l'entreprise prévoit en retirer. Comme on l'a vu plus tôt, l'augmentation de la productivité ainsi que la réduction des coûts comptent parmi les bénéfices les plus tangibles de l'acquisition de nouvelles technologies, mais l'augmentation de la qualité des produits, la réduction des cycles de production et la souplesse de production sont également des bénéfices intangibles, donc plus difficiles à prévoir ou à mesurer, qui permettent d'accroître la compétitivité de l'entreprise¹¹⁶.

Le tableau 3.17 résume les principaux avantages liés à l'adoption de technologies de pointe, tels qu'ils sont signalés par les directeurs d'usine ayant participé à l'enquête de 1993¹¹⁷. L'augmentation de la productivité reste l'avantage le plus souvent mentionné. La diminution des coûts de main-d'œuvre en est la composante la plus importante, surtout pour les groupes fonctionnels de la fabrication et de la manutention, une situation probablement liée à l'automatisation. Toutefois, le recours aux TSP nécessite une augmentation des niveaux de compétence de la main-d'œuvre ont augmenté plutôt que de diminuer. L'adoption de technologies s'accompagne donc de coûts élevés, en raison à la fois des coûts d'immobilisation et du recours à une main-d'œuvre plus spécialisée.

L'augmentation de la qualité des produits est le deuxième avantage le plus important, particulièrement en ce qui regarde la fabrication et le montage. En fait, les scores les plus élevés se retrouvent dans ce groupe fonctionnel de technologies. Il est à noter que ces chiffres sont tirés de l'enquête de 1993 et que les différentes technologies logicielles n'avaient pas encore pris toute l'importance qu'elles affichent maintenant.

Les utilisateurs de technologies de pointe ont, dans l'ensemble, dressé une longue liste des avantages liés à ces technologies. Mais la capacité des entreprises à profiter des avantages rattachés à l'acquisition de technologies varie considérablement. Plus l'adoption est hâtive, plus ces avantages seront élevés. Et ce sont les entreprises qui disposent de capacités technologiques élevées qui auront tendance à le faire¹¹⁸. L'accumulation de savoirs tacites et explicites au sein du personnel et la participation à des réseaux facilitant l'accès à l'information comptent parmi les capacités plus importantes.

¹¹⁵ Voir P.A. Geroski, « Models of technology diffusion », *Research Policy*, vol. 29, 2000, p. 603-635 et Allen Blackman, *The Economics of Technology Diffusion : Implications for Climate Policy in Developing Countries*, 1999, 21 p.

¹¹⁶ John Baldwin, David Sabourin et Mohamed Rafiqzaman, *Avantages et problèmes liés à l'adoption de la technologie dans le secteur de la fabrication au Canada*, 1996, 98 p.

¹¹⁷ John Baldwin et Zhengxi Lin, *Entraves à l'adoption des technologies de pointe pour les fabricants canadiens*, 2001, 31 p.

¹¹⁸ John R. Baldwin et Mohamed Rafiqzaman, *Les facteurs déterminants des retards en matière d'adoption des technologies de fabrication de pointe*, 1998, 34 p. Il est à noter que la capacité technologique est mesurée à partir de la perception des dirigeants d'entreprise face à la concurrence.

Tableau 3.17
Avantages liés à l'adoption de technologies de pointe, selon l'enquête de 1993

Avantage/Conséquence	Conception et ingénierie	Fabrication et montage	Manutention automatisée des matériaux	Inspection et communications
Augmentation de la productivité	70,1	75,9	77,4	54,6
Réduction des besoins en main-d'œuvre	48,6	72,1	50,0	31,5
Réduction de la consommation de matières	19,0	34,1	15,0	13,8
Réduction de la consommation d'énergie	9,8	24,3	7,7	11,7
Augmentation du taux d'utilisation du matériel	29,5	43,3	56,3	29,3
Augmentation des besoins en capital	33,2	52,6	58,6	30,1
Diminution des dépenses en immobilisations	3,9	6,1	5,6	3,0
Réduction des stocks	9,3	43,2	20,2	22,1
Amélioration de la qualité du produit	46,7	65,2	56,8	51,2
Réduction du taux de rejet en cours de production	18,3	57,8	52,6	41,3
Réduction du temps de montage	38,7	51,2	46,4	11,0
Adaptabilité accrue du produit	37,4	48,7	52,5	19,0
Amélioration des conditions de travail	28,5	43,8	58,5	19,2
Réduction des dommages à l'environnement	5,3	26,2	7,4	11,2
Augmentation des compétences nécessaires	54,2	56,0	58,8	47,2
Réduction des compétences nécessaires	8,2	15,8	5,0	5,6

Source : John Baldwin et Zhengxi Lin, *Entraves à l'adoption des technologies de pointe pour les fabricants canadiens*, 2001, 31 p.

Puisque les avantages de l'adoption de technologies semblent importants, on peut se demander pourquoi certaines entreprises tardent à les adopter. On peut supposer que certains obstacles empêchent ces entreprises d'accéder à de nouvelles technologies. Le tableau 3.18 donne la liste des principaux obstacles recensés dans l'enquête de 1993 en les regroupant en cinq grandes catégories. Les principaux obstacles à l'adoption de technologies de pointe sont associés aux coûts. Et les coûts du matériel et de financement sont de loin les obstacles les plus grands.

Il est également intéressant de noter que les obstacles liés aux interventions des gouvernements, comme les crédits d'impôt à l'investissement et la réglementation, sont somme toute assez marginaux. Les obstacles rattachés à l'environnement interne de l'entreprise sont beaucoup plus importants. En particulier, la difficulté à la mise en œuvre d'un changement s'avère un obstacle de taille. Il s'agit ici d'un problème associé bien plus à la direction de l'entreprise qu'à la résistance des travailleurs.

Cependant, ce sont les problèmes liés à la qualification de la main-d'œuvre qui constituent le deuxième obstacle en importance. Les pénuries de main-d'œuvre se classent en tête de liste de ces problèmes.

Il est frappant de constater que les utilisateurs et les innovateurs mentionnent beaucoup plus d'obstacles que les non-utilisateurs. Une stratégie novatrice expose donc les entreprises aux problèmes d'implantation des technologies et contribue à l'acquisition de connaissances sur les problèmes à régler. Plus une entreprise met en place une stratégie complexe d'innovation, plus les obstacles se concrétisent. Elle en récolte cependant les bénéfices. L'étude conclut en outre que les obstacles à l'adoption de technologies sont liés à des variables qui saisissent la complexité technologique des entreprises. Les obstacles ne sont pas des barrières infranchissables, mais une indication de l'état de connaissances des entreprises face à la complexité des stratégies adoptées. Par exemple, une fois la décision d'adopter une technologie prise, l'un des facteurs les plus importants affectant le choix final est la familiarité de l'entreprise avec cette technologie. L'expertise interne joue donc un rôle majeur.

Un des problèmes inhérents aux choix technologiques qui se confirment est la difficulté de mesurer les bénéfices intangibles. Alors que l'accroissement de la productivité est relativement simple à mesurer, l'amélioration du produit ou la répercussion qu'elle pourrait avoir sur les parts de marché sont plus difficiles à prévoir. Or, nous l'avons vu, c'est souvent dans ce genre de bénéfices que réside tout le potentiel commercial des technologies flexibles. Cet argument milite en faveur d'un accroissement des connaissances de l'environnement commercial et d'une véritable gestion du savoir au sein des entreprises. La concordance entre les choix technologiques et une stratégie d'affaires cohérente avec les capacités de l'entreprise est donc un des facteurs qui caractérisent les implantations réussies.

Tableau 3.18
Obstacles à l'adoption des technologies de fabrication de pointe, selon l'enquête de 1993

Obstacle	Toutes les entreprises	Utilisateur	Non-utilisateur	Innovateur	Non-innovateur
Lié aux coûts	79,1	83,5	58,7	82,9	66,4
Capital	49,2	50,7	42,1	49,8	46,9
Matériel	56,4	58,6	46,1	59,6	45,6
Mise au point de logiciels	21,8	23,6	12,9	21,6	22,4
Entretien	13,3	14,0	10,1	14,1	10,7
Acquisition des technologies	28,8	30,1	23,1	30,1	24,6
Lié aux cadres institutionnels	15,5	15,9	13,2	16,5	11,9
Crédit d'impôt à l'investissement dans la R-D	7,6	8,0	5,8	8,7	3,8
Déduction pour amortissement	8,7	9,5	4,9	9,7	5,0
Réglementation et normes	7,2	7,4	6,3	6,8	8,4

Tableau 3.18 (suite)

Obstacle	Toutes les entreprises	Utilisateur	Non-utilisateur	Innovateur	Non-innovateur
En matière de main-d'œuvre	37,2	39,9	24,2	39,0	30,9
Pénurie de compétences	22,8	24,3	15,7	24,0	18,7
Difficulté relative à la formation	19,3	20,7	12,8	19,8	17,5
Convention collective	13,0	14,2	7,3	13,4	11,3
Organisationnelle	34,1	37,3	18,9	35,9	28,1
Difficulté liée à la mise en œuvre d'un changement	23,3	25,7	11,9	25,4	16,2
Attitude de la direction	16,7	18,5	8,3	16,8	16,4
Résistance des travailleurs	11,0	11,3	9,4	11,5	8,9
En matière d'information	24,9	26,6	16,8	27,2	17,1
Manque d'information	12,4	12,3	12,9	12,9	10,7
Manque de services	9,8	10,1	8,3	10,4	7,7
Manque de soutien de la part des vendeurs	10,9	11,3	8,8	11,5	8,8

Source : John Baldwin, et Zhengxi Lin, *Entraves à l'adoption des technologies de pointe pour les fabricants canadiens*, 2001, 31 p.

Le tableau 3.19 dresse la liste des obstacles à l'adoption de TFP recensés dans l'enquête de 1998. On remarque que les obstacles liés aux coûts demeurent les plus importants et que les problèmes associés aux pénuries de main-d'œuvre occupent toujours la deuxième position. Le portrait général reste donc sensiblement le même qu'en 1993.

Tableau 3.19
Pourcentage d'usines utilisatrices de TFP qui accordent une importance aux obstacles selon l'enquête de 1998

Obstacle	Nombre d'employés				
	10-49	50-99	100-249	250 et plus	Toutes les entreprises
Coût élevé du matériel	64	67	53	57	63
Coût du capital	53	51	44	45	51
Coût d'intégration de la technologie	43	45	35	39	42
Pénuries de compétences	41	37	27	33	38
Coût de développement de logiciels	36	39	32	33	36
Petite taille du marché	35	30	25	18	32

Tableau 3.19 (suite)

Obstacle	Nombre d'employés				
	10-49	50-99	100-249	250 et plus	Toutes les entreprises
Manque de soutien technique des fournisseurs/consultants	19	18	17	19	19
Réticence des travailleurs	17	25	19	19	19
Incapacité à évaluer la nouvelle technologie	17	22	17	17	18
Résistance des gestionnaires	13	19	14	15	14

Source : Anthony Arundel et Viki Sonntag, *Modèles d'utilisation des technologies de fabrication de pointe (TFP) dans l'industrie canadienne de la fabrication*, 1999.

Un obstacle supplémentaire mérite cependant d'être signalé relativement à la petitesse du marché qui affecte particulièrement les petites entreprises. Bien qu'on puisse y voir un effet de la taille, les grandes entreprises étant en mesure d'obtenir plus facilement des économies d'échelle, on peut se demander si cet obstacle ne révèle pas également une lacune stratégique. Si les PME, au Québec, ont persisté dans la poursuite d'une stratégie basée sur l'augmentation quantitative de leur production, nécessitant des marchés de grande taille, elles n'ont pu soutenir la concurrence des entreprises asiatiques¹¹⁹. Une spécialisation dans la production de petits lots ou de composantes sur mesure s'accommoderait mieux d'une acquisition de technologies de pointe que la poursuite d'une concurrence basée sur les coûts, qui demande un volume de production considérable.

Par ailleurs, les données de l'enquête de 1998 tendent à confirmer que les capacités internes des entreprises (capacité de R-D et importance des compétences internes, par exemple) constituent un facteur déterminant de l'adoption de TFP. On le constate particulièrement dans l'expérience antérieure avec ces technologies. En effet, une analyse de régression¹²⁰ a permis de constater que les usines qui avaient investi dans les TFP au cours des trois années précédentes étaient cinq fois plus susceptibles d'avoir des plans d'adoption de TFP que les autres usines. Or, cette expérience ne peut être valable que dans la mesure où elle est conservée dans l'entreprise sous forme tacite ou explicite. C'est là un indice qu'une forme de gestion des connaissances ou du savoir est essentielle à l'adoption éclairée de nouvelles technologies.

Ces résultats sont confirmés dans une étude sur l'implantation des TFP dans les PME québécoises¹²¹ qui confirme une corrélation positive entre le degré de maîtrise des technologies et le succès d'implantation. Il est important pour les entreprises de maîtriser les technologies existantes afin de réussir les implantations de nouvelles technologies. Plus les technologies d'un niveau de complexité inférieur sont bien maîtrisées, plus les technologies de niveau de complexité supérieur seront implantées avec succès.

¹¹⁹ Gaël Le Corre-Laliberté, *Davantage de flexibilité pour une productivité accrue*, 2005, 27 p.

¹²⁰ Anthony Arundel et Vicky Sonntag, *op. cit.*

¹²¹ Denis Lagacé, *Succès d'implantation des technologies manufacturières avancées*, thèse de doctorat, École polytechnique de Montréal, 2001.

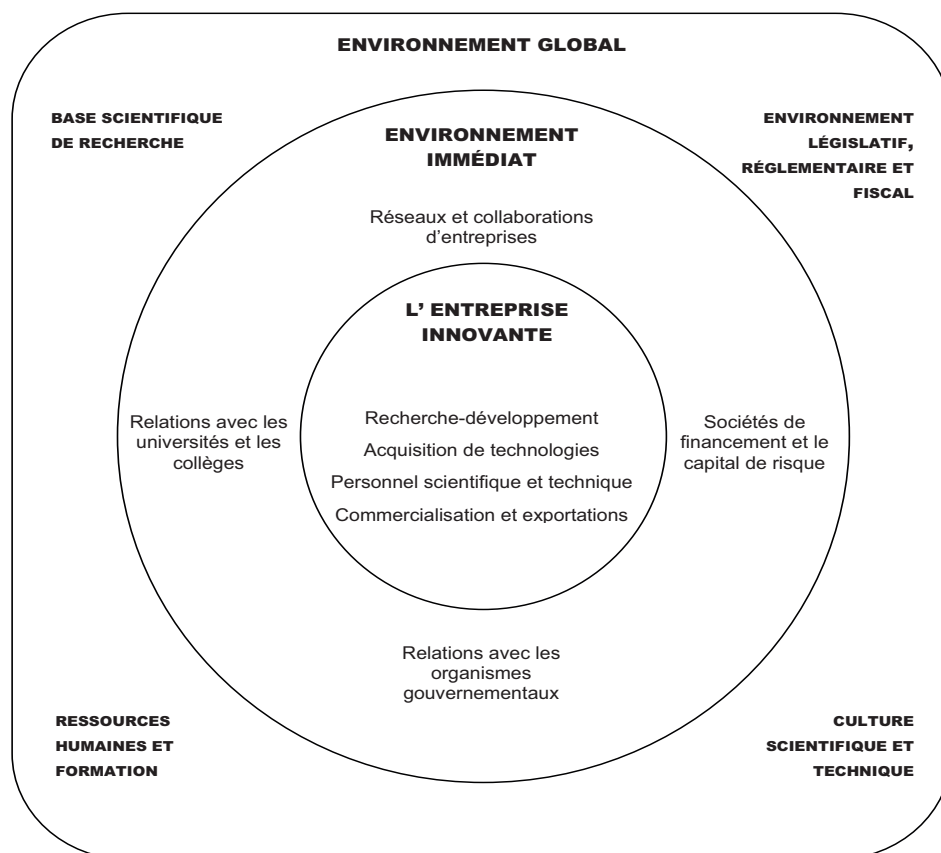
Principaux constats

- Bien que l'utilisation des technologies de pointe soit une pièce maîtresse de la stratégie de l'entreprise, les investissements dans l'innovation organisationnelle contribuent de façon beaucoup plus significative à la performance de l'entreprise que les simples investissements en TFP. Plusieurs méthodes de gestion permettent une augmentation notable de la productivité des entreprises sans que l'on recoure à des investissements majeurs en TFP.
- On observe un lien significatif entre l'utilisation des technologies de pointe et la productivité du travail. Cependant, pour bénéficier pleinement des avantages de ces technologies, l'implantation des technologies doit s'inscrire dans un ensemble de pratiques organisationnelles parmi lesquelles la formation des employés joue un rôle de premier plan. Sans une concordance entre la stratégie technologique des entreprises et leur stratégie d'affaires, l'implantation et l'utilisation des TFP se révèlent un échec dans plusieurs cas. L'innovation organisationnelle serait donc une clé pour actualiser le potentiel économique de l'introduction de TFP.
- La majeure partie des études disponibles signalent un taux d'adoption plus faible des TFP par les PME que par les grandes entreprises. Cependant, plusieurs de ces études ne tiennent pas toujours compte des caractéristiques de fonctionnement propres aux PME. La complexité des produits manufacturés et celle des échanges au sein d'une chaîne de valeur conditionnent fortement l'utilisation des technologies. L'adoption des TFP reflète la position d'une entreprise dans la chaîne de valeur. Il semble donc normal que les PME affichent des taux d'adoption plus bas, la complexité de leurs opérations étant moins grande que celles des grandes entreprises en termes de nombre de produits manufacturés ou de nombre de fournisseurs à coordonner. On remarque toutefois que les entreprises de taille moyenne (50 à 249 employés) sont celles dont le taux d'adoption de TFP a le plus augmenté durant la période allant de 1993 à 1998 au Canada. On pourrait y voir un indice de la concentration de la valeur dans ce type d'entreprises. Les entreprises de taille moyenne pourraient jouer un rôle important en tant qu'intégrateur au sein des chaînes de valeur. La fonction d'intégration jouée par ce type d'entreprises serait déficiente au Québec, peu d'entreprises étant prêtes à assumer ce rôle.
- Bien que certains secteurs soient, en moyenne, des utilisateurs plus intenses des TFP, chaque secteur industriel compte sur des entreprises dont la stratégie est axée sur le savoir et sur l'utilisation de ces technologies. Les taux d'adoption des TFP ne donnent qu'une image imparfaite de leur utilité. Des données très agrégées peuvent conduire à des interprétations erronées quant au retard technologique. La base de savoir conduisant à des activités d'innovation et d'acquisition de technologies peut en effet être extrêmement différente d'un secteur à l'autre. L'industrie aérospatiale, par exemple, très présente au Québec, est moins avancée en matière d'automatisation des procédés que l'industrie automobile concentrée en Ontario. Les données consultées ne permettent pas de poser un diagnostic précis quant à l'état d'adoption des TFP au Québec par rapport à l'Ontario ou à d'autres pays.

-
- L'utilisation des TFP dans un seul esprit de diminution des coûts de production est une avenue plutôt dangereuse. La littérature sur le sujet, tout comme les études empiriques, semble démontrer que c'est dans l'optimisation d'un ensemble de variables organisationnelles et technologiques que réside le succès des entreprises.
 - Les principaux obstacles à l'adoption de TFP sont liés aux coûts. Les entreprises utilisatrices de TFP rapportent beaucoup plus d'obstacles que les non-utilisatrices. Les obstacles rencontrés par les entreprises dans l'adoption de TFP représentent l'état de leurs connaissances à un moment donné du processus d'innovation. Les problèmes liés à la qualification de la main-d'œuvre se classent au deuxième rang des principaux obstacles à l'adoption de TFP. Par ailleurs, la maîtrise des technologies existantes est un préalable à l'implantation réussie de nouvelles technologies. Enfin, les capacités technologiques internes des entreprises (en particulier les compétences du personnel) constituent un facteur déterminant de l'adoption de TFP.

Annexe

Les trois niveaux du système national d'innovation



Source : Conseil de la science et de la technologie, *Rapport de conjoncture 1998*.