



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org



1/ii
19679-F

Distr.
LIMITEE

ID/WG.514/4
23 juin 1991

Organisation des Nations Unies pour le développement industriel

FRANÇAIS
Original : ANGLAIS

Quatrième Consultation sur l'industrie des
biens d'équipement, et plus particulièrement
les machines-outils

Prague (Tchécoslovaquie), 16-20 septembre 1991

L'INDUSTRIE MONDIALE DE LA MACHINE-OUTIL

Document de fond */

Etabli par
le secrétariat de l'ONU

*/ La mention dans le texte de la raison sociale et des produits d'une société n'implique aucune prise de position en leur faveur de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONU). Traduction d'un document n'ayant pas fait l'objet d'une mise au point rédactionnelle.

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
CHAPITRE PREMIER : INTRODUCTION A L'ETUDE DE L'INDUSTRIE DE LA MACHINE-OUTIL	1
1. Une industrie stratégique	1
2. Classification des produits de l'industrie de la machine-outil	3
2.1. Classification selon la fonction	4
2.1.1. Machines-outils fonctionnant par enlèvement de métal	4
2.1.2. Machines-outils fonctionnant par déformation de métal	7
2.1.3. Evolution de la structure de la demande	7
2.2. Classification selon le mode de commande	10
2.2.1. Machines-outils classiques	10
2.2.2. Machines-outils automatiques	10
2.2.3. Machines-outils à commande numérique	11
3. Caractéristiques de l'industrie des machines-outils	16
3.1. Une industrie parvenue à maturité	16
3.2. Dimension économique	16
3.3. Déplacement des limites de l'industrie : de la mécanique à la mécatronique	18
3.4. La structure de l'industrie	18
3.4.1. Structure du marché	18
3.4.2. Petites industries	20
3.4.3. Principales entreprises	24
3.4.4. Sous-traitance et concentration géographique ...	26
3.5. Caractéristiques de la production	29
3.5.1. Organisation de la production	29
3.5.2. Intensité de technologie	29
3.6. Déterminants de l'avantage national dans l'industrie de la machine-outil	30

CHAPITRE II : LA PRODUCTION ET LE COMMERCE DE MACHINES-OUTILS DANS LE MONDE	33
1. Production	33
1.1. Production mondiale	33
1.2. Concentration de la production dans les pays industrialisés	35
1.2.1. Principaux pays producteurs	35
1.2.2. Evolution parmi les principaux pays producteurs	36
1.2.3. L'Europe maintient sa position	47
1.2.4. Le cas de l'URSS	49
1.2.5. Le deuxième niveau	49
1.3. La production de machines-outils dans les pays en développement	50
1.3.1. Evaluation générale	50
1.3.2. Amérique latine	53
1.3.3. République populaire de Chine, Inde et Pakistan	57
1.3.4. Asie du Sud-Est	60
1.3.5. Afrique du Nord et Asie de l'Ouest	64
1.3.6. Afrique sub-saharienne	65
2. Consommation de machines-outils	65
2.1. Dynamique de la consommation dans les économies industrialisées	66
2.2. Consommation de machines-outils dans les pays en développement	66
3. Le marché international de la machine-outil	69
3.1. Caractéristiques du commerce	70
3.1.1. Principaux pays importateurs et exportateurs ...	70
3.1.2. Echanges intracommunautaires et spécialisation du marché	73
3.1.3. Compétitivité dans les échanges commerciaux	74
3.1.4. L'avantage comparatif des pays en développement	77
3.2. Importations des pays en développement	79
4. Investissements internationaux	86
5. Prévision des marchés mondiaux de la machine-outil	87

CHAPITRE III : EVOLUTION TECHNOLOGIQUE	90
1. De la production de masse à la spécialisation flexible et à la production de masse flexible	90
1.1. Un nouveau paradigme	90
1.2. Nouveaux facteurs de la compétitivité	94
1.3. L'impact social de l'automatisation flexible	95
1.3.1. L'économie de main-d'oeuvre	97
1.3.2. Intensification du travail	98
1.3.3. Organisation du travail	99
1.3.4. Qualification ou déqualification	105
1.4. De la machine utilisée isolément à la fabrication intégrée par ordinateur	106
2. L'automatisation des équipements des machines utilisées isolément	107
2.1. Evolution de la conception des machines-outils utilisées isolément	110
2.1.1. Structure	110
2.1.2. Guides et surfaces porteuses	113
2.1.3. Systèmes axiaux	113
2.1.4. Dispositifs d'entraînement et de transmission ..	113
2.1.5. Eléments de transmission mécanique	113
2.1.6. Précision de la conception	114
2.1.7. Ergonomie, bruit et sécurité	114
2.1.8. Matériaux utilisés pour les outils	114
2.2. Diffusion de machines-outils à commande numérique	115
2.2.1. Les tours	116
2.2.2. Alésage, perçage et fraisage	119
2.2.3. Machines à rectifier	121
2.2.4. Autres machines fonctionnant par enlèvement de métal	122
2.2.5. Machines-outils fonctionnant par déformation de métal	122
2.3. Diffusion des MOCN dans les secteurs industriels	123
2.3.1. Evolution générale	123
2.3.2. Analyse sectorielle	126
2.4. Prévision pour les années 1990	133
3. Intégration des systèmes	137
3.1. Cellules et systèmes flexibles de fabrication	137

3.1.1.	Les cellules flexibles de fabrication	137
3.1.2.	Les systèmes flexibles de fabrication (SFF)	140
3.1.3.	Fabrication intégrée par ordinateur	145
CHAPITRE IV : INCIDENCES POUR LES PAYS EN DEVELOPPEMENT		149
1.	Impact sur la production de machines-outils	149
1.1.	L'accession à l'industrie de la machine-outil	149
1.1.1.	Contraintes techniques	149
1.1.2.	Contraintes économiques	152
1.1.3.	La gamme de produits et l'intégration	153
1.1.4.	Acquisition de la technologie	156
1.1.5.	Politique industrielle	159
1.2.	Accession à la production de machines-outils à commande numérique	159
1.2.1.	Evolution dans les pays nouvellement industrialisés	159
1.2.2.	Maitrise de la technologie	161
1.2.3.	Intégration locale	163
1.2.4.	Compétitivité au niveau des prix	163
2.	Impact des modifications technologiques sur les industries mécaniques des pays en développement	168
2.1.	Evaluation générale	169
2.1.1.	Menaces	169
2.1.2.	Occasions offertes	170
2.2.	Le cas des composants d'automobiles	171
2.2.1.	La technologie et les tendances quant à la répartition mondiale des sources	172
2.2.2.	L'automatisation et l'extension géographique de la production d'outre-mer	174
3.	L'automatisation industrielle dans les pays en développement	175
3.1.	Diffusion des machines-outils à commande numérique dans les pays en développement	176
3.1.1.	Pays nouvellement industrialisés	176
3.1.2.	Autres pays en développement	178
3.1.3.	Perspectives	179
3.2.	Choix de la technologie	182
3.3.	Modifications organisationnelles	184
3.3.1.	Conception et fabrication	184
3.3.2.	Approche graduelle à l'automatisation	187

LISTE DES TABLEAUX

	<u>Page</u>
Chapitre premier	
Tableau 1	Evolution chronologique de l'industrie de la machine-outil 1
Tableau 2	Stocks de machines-outils aux Etats-Unis, au Japon, au Royaume-Uni et en France 6
Tableau 3	Machines-outils à enlèvement de métal utilisées 8
Tableau 4	Machines-outils à déformation de métal en service 8
Tableau 5	L'industrie de la machine-outil dans certains pays 17
Tableau 6	Structure de l'industrie de la machine-outil 21
Tableau 7	Principales entreprises de production de machines-outils du monde 25
Tableau 8	Organisation de la sous-traitance au sein de l'industrie japonaise de la machine-outil 28
Chapitre 2	
Tableau 9	Production régionale de machines-outils 35
Tableau 10	Concentration de la production en 1988 36
Tableau 11	Production de machines-outils (1977-1989) 38
Tableau 12	Nombre de demandes de brevets 49
Tableau 13	Les industries mécaniques et la production de machines-outils 52
Tableau 14	Consommation de machines-outils des pays en développement 69
Tableau 15	Les dix principaux pays exportateurs et pays importateurs 70
Tableau 16	Exportations de machines-outils 1978-1989 71
Tableau 17	Importations de machines-outils 1978-1989 72
Tableau 18	Spécialisation des exportations de certaines machines-outils fonctionnant par enlèvement de métal (1988) 75
Tableau 19	Part des marchés à l'exportation de certaines machines-outils fonctionnant par enlèvement de métal (1988) 75
Tableau 20	Mesure de la compétitivité commerciale dans le cas de l'Amérique du Nord 76
Tableau 21	Direction des échanges en 1980 80
Tableau 22	Direction des échanges en 1987 81
Tableau 23	Importations de machines-outils de pays en développement 1980-1988 83
Chapitre 3	
Tableau 24	Prévision des marchés mondiaux des machines-outils pour 1988-1995 89
Tableau 25	Six étapes de l'organisation du travail 101
Tableau 26	Part du logiciel dans le total de l'investissement 108
Tableau 27	Les machines-outils à CN en pourcentage de la production et de la consommation 112
Tableau 28	La diffusion de la CN dans la consommation apparente ... 117
Tableau 29	Production de machines-outils à CN dans certains pays industrialisés en 1988 118
Tableau 30	Diffusion de la commande numérique dans le domaine du tournage 120

Tableau 31	Centres d'usinage et machines à fraiser - Tendances des équipements aux Etats-Unis	121
Tableau 32	Diffusion du stock de MOCN par secteur (Japon, Etats-Unis d'Amérique)	127
Tableau 33	Diffusion sectorielle des MOCN au Royaume-Uni (en 1987)	128
Tableau 34	Données sur la diffusion des MOCN en France	129
Tableau 35	Données sur la diffusion des MOCN au Japon	132
Tableau 36	Evolution du stock de machines-outils à CN/CNC	132
Tableau 37	Diffusion des centres d'usinage, en unités	140
Tableau 38	Répartition des systèmes flexibles de fabrication entièrement intégrés	141
Tableau 39	Distribution sectorielle des systèmes flexibles de fabrication	141
Tableau 40	Rendement d'une usine japonaise avant et après l'introduction d'un système de fabrication flexible	144
Tableau 41	Comparaison entre les besoins en main-d'oeuvre, d'installations à enlèvement de métal pour la fabrication du même nombre de pièces aux Etats-Unis d'Amérique et au Japon	144
Tableau 42	Comparaison entre les systèmes flexibles de fabrication étudiés aux Etats-Unis et au Japon en 1984	144
Tableau 43	Répartition estimative des investissements dans l'automatisation des usines	146
Chapitre 4		
Tableau 44	Capacités des fabricants de machines-outils et ampleur de la production	156
Tableau 45	La production de machines-outils à commande numérique dans les pays nouvellement industrialisés	160
Tableau 46	Principales caractéristiques de fabrication des machines-outils classiques et à CNC	164
Tableau 47	Taux de localisation en République de Corée	165
Tableau 48	Comparaisons des prix des machines-outils	165
Tableau 49	Facteurs de production du secteur de la machine-outil au Brésil	165
Tableau 50	Stock de MOCN dans certains pays en développement	178
Tableau 51	Importations de tours en provenance du Japon et d'Europe en 1987	180
Tableau 52	Importations de centres d'usinage, d'aréseuses et de fraiseuses	181
Tableau 53	Avantages tirés de la technologie de fabrication avancée	186

LISTE DES ENCADRES

	<u>Page</u>
Chapitre premier	
Encadré 1 Principales machines-outils	5
Encadré 2 La CN : principales définitions	12
Encadré 3 Evolution technologique	14
Encadré 4 Différentiation du marché	19
Encadré 5 Economies d'échelle dans la production de machines-outils à CN au Japon	22
Chapitre 2	
Encadré 6 La réunification de l'industrie allemande de la machine- outil	48
Encadré 7 Dynamique de la consommation	67
Chapitre 3	
Encadré 8 Flexibilité	92
Encadré 9 Juste à temps, Kan-ban et Kan-Ban plus effet Alpha	96
Encadré 10 Cinq siècles d'évolution technologique et organisationnelle	100
Encadré 11 Evolution de l'organisation du travail : le cas de la fabrication de produits en tôle	103
Encadré 12 L'"adoucissement" de l'automatisation "dure"	109
Encadré 13 L'avenir du tour classique	116
Encadré 14 La diffusion de la CN dans l'industrie de la machine- outil	134
Encadré 15 Systèmes flexibles de fabrication et centres flexibles de fabrication : définitions	138
Encadré 16 Description d'un système de fabrication flexible	139
Chapitre 4	
Encadré 17 Mesure de l'efficacité économique de l'industrie de la machines-outil au Pakistan	150
Encadré 18 De la demande Sud-Sud à la demande mondiale	154
Encadré 19 Exemple de transfert inverse de technologie	157
Encadré 20 Protection et compétitivité	160
Encadré 21 Identification des principales contraintes techniques rencontrées par les constructeurs de machines-outils à commande numérique	162
Encadré 22 Choix d'un mode de transfert de technologie en vue de l'acquisition de techniques de CNC	167
Encadré 23 Problèmes de l'importation de la technologie de la commande numérique	183
Encadré 24 Changements organisationnels dans les pays en développement	185

LISTE DES FIGURES

	<u>Page</u>
Chapitre premier	
Figure 1	Demande mondiale par type de machine, en valeur 9
Figure 2	Demande mondiale par type de machine, en volume 9
Figure 3	Du classique à l'automatique 15
Figure 4	Le losange de l'industrie des machines-outils 15
Chapitre 2	
Figure 5	Production mondiale de machines-outils 34
Figure 6	Evolution de la demande mondiale de certains produits de l'industrie mécanique 34
Figure 7	Concentration des exploitations mondiales de machines-outils 37
Figure 8	Principaux pays producteurs. Part de la production mondiale (1977-1989) 40
Figure 9	Production de machines-outils à commande numérique 40
Figure 10	Argentine : Production, consommation et échanges 55
Figure 11	Brésil : Production, consommation et échanges 55
Figure 12	Chine : Production, consommation et échanges 58
Figure 13	Inde : Production, consommation et échanges 58
Figure 14	République de Corée : Production, importations et exportations 62
Figure 15	Taiwan, Chine : Production, importations et exportations 62
Figure 16	L'investissement dans l'industrie manufacturière et la consommation de machines-outils 68
Figure 17	Le marché de la machine-outil et le développement des industries mécaniques (1988) 70
Figure 18	Compétitivité internationale 76
Figure 19	Avantage comparatif des pays en développement - Evolution entre 1980 et 1989 78
Figure 20	Importations de machines-outils (et de pièces de machines-outils) de pays en développement 85
Chapitre 3	
Figure 21	Réorganisation de l'atelier 104
Figure 22	Ensembles de tâches réalisables par les conducteurs de machines à CNC 104
Figure 23	Diffusion des tours à commande numérique (Japon) 111
Figure 24	Impact de l'innovation en électronique sur le prix des dispositifs de commande numérique 111
Figure 25	Diffusion de la CN dans les industries mécaniques du Japon 125
Figure 26	Machines-outils installées, selon la période d'acquisition au Royaume-Uni (1987) 125
Figure 27	Diffusion de la CN dans les industries mécaniques des Etats-Unis 125
Figure 28	Diffusion des machines-outils à commande numérique dans les industries du Royaume-Uni 131
Figure 29	Diffusion des machines-outils à commande numérique en France en 1987 131

Figure 30	Diffusion des machines-outils à commande numérique au Japon	131
Figure 31	Prévision de la part de la CN dans la production et l'installation de machines-outils fonctionnant par enlèvement de métal	136
Figure 32	Cellules et systèmes flexibles de fabrication	138
Chapitre 4		
Figure 33	Principes directeurs pour l'acquisition d'une machine-outil à CN	188
Figure 34	Approche graduelle à la fabrication intégrée	188

CHAPITRE PREMIER :

INTRODUCTION A L'ETUDE DE L'INDUSTRIE DE LA MACHINE-OUTIL */

1. Une industrie stratégique

L'industrie de la machine-outil est un petit secteur de l'industrie manufacturière, dont le total des ventes s'élevait en 1949 à 42 milliards de dollars des Etats-Unis. Son taux de croissance est relativement modeste. Son chiffre d'affaires représentait 9% de celui de l'industrie électronique en 1989, contre 15% seulement en 1974 (tableau 1).

Tableau 1 :

Evolution chronologique de l'industrie de la machine-outil
(milliards de dollars)

Industrie	1974	1980	1986	1988	1989
Machines-outils	13	26	29	38	42
Electronique	87	196	346	430	445

Sources : American Machinist et Yearbook of Word Electronics Data.

En dépit de sa taille relativement modeste, l'industrie de la machine-outil est généralement considérée comme une industrie stratégique. Les machines-outils sont parfois classées dans une catégorie dite des "machines-mères", en d'autres termes des biens d'équipement utilisés pour produire d'autres biens d'équipement 1/. Leur champ d'application va de la fabrication de biens de consommation légers à celle de biens d'équipement comme les turbines à gaz et les avions, ces diverses industries faisant intervenir dans leur production les mêmes outils, machines et processus. L'importance de l'industrie des machines-outils tient surtout à son rôle stratégique dans le processus d'apprentissage lié à l'industrialisation. "Ce rôle est double : i) de nouvelles techniques et capacités ont été mises au point ou perfectionnées dans l'industrie de la machine-outil en réponse à la demande de clients spécifiques; ii) une fois ces techniques et capacités acquises, l'industrie de la machine-outil est devenue le principal centre de transmission pour le transfert de nouvelles capacités et techniques à l'ensemble du secteur de l'économie utilisateur de machines" 2/. L'industrie

*/ Sauf indication contraire, le mot "dollar" employé dans le présent document désigne le dollar des Etats-Unis.

1/ Cette expression a été forgée par J. Nehru lors de l'inauguration de la Hindustan Machine Tool Factory (R.C. Mascarenhas, Technology transfert and development: India's Hindustan Machine Tool Company, Westview Press, Boulder, Colorado, 1983).

2/ In N. Rosenberg: Perspectives on technology, Cambridge University Press, 1976, page 18.

de la machine-outil est la source de techniques continuellement améliorées qui, par le truchement de divers systèmes de machines et de divers procédés, jouent un rôle majeur dans l'amélioration de la productivité globale de l'industrie. C'est un des éléments cruciaux 3/ de la diffusion inter-industrielle des progrès technologiques. Bien qu'elle n'engendre pas nécessairement un apport spectaculaire de technologies révolutionnaires, l'industrie de la machine-outil est un des points de transit obligés pour la diffusion directe et indirecte des effets de cette technologie dans l'ensemble de l'industrie des biens d'équipement. Le lien entre l'industrie de la machine-outil et la compétitivité globale de l'industrie manufacturière a été récemment souligné par la Commission de la productivité industrielle des Etats-Unis : "Si les manufacturiers américains doivent se procurer leurs machines-outils auprès de sources étrangères, ils ne pourront guère s'attendre à jouer un rôle de pointe dans leurs industries, étant donné que les concurrents d'outre-mer bénéficieront souvent d'un accès plus précoce aux innovations les plus récentes" 4/.

Bien souvent, ce rôle stratégique explique et justifie l'intervention de l'Etat. Cette situation s'observe dès le XVIIIe siècle, lorsque le Royaume-Uni promulguait des lois visant à empêcher les exportations d'outils et l'émigration d'hommes de métier vers sa colonie américaine pour l'empêcher de se doter d'une industrie mécanique 5/. Plus récemment, le Plan d'action national (Domestic Action Plan, ou DAP) des Etats-Unis rappelait clairement l'importance stratégique de cette industrie 6/. Cependant, abstraction faite du cas des économies centralisées et de certains pays en développement, les entreprises publiques y sont rarement présentes. Les politiques industrielles sont principalement axées sur la promotion de la R-D, sur les achats préférentiels du secteur public et sur l'appui aux efforts de restructuration et aux plans de modernisation.

3/ OCDE : Technology and international competitiveness: an interpretation of the relationships in the machine-tool industry, Direction de la science, de la technique et de l'industrie, Paris, 1984.

4/ Artemis March: The US Machine-Tool Industry and its foreign competitors, dans The Working Papers of the MIT Commission on Industrial Productivity, 2 vols Cambridge MIT Press 1989. Le responsable d'une étude des machines-outils de General Motors a noté ce qui suit : "Si vous achetez les meilleurs équipements possibles au Japon, ceux-ci sont déjà en service chez Toyota depuis deux ans, et les équipements que vous achetez en Allemagne occidentale sont déjà installés chez BMW depuis un an et demi." American Machinist, janvier 1986.

5/ Pour tourner cette interdiction, les Américains versaient des sommes considérables aux techniciens pour qu'ils émigrent déguisés en paysans et en laboureurs, avec des plans de machines cousus dans leurs vêtements (Machines that Built America).

6/ Ce p.a.n. adopté sur l'initiative du Président des Etats-Unis, visait à garantir des capacités de production de produits très avancés technologiquement pour l'industrie de la défense. Le DAP comportait un Accord de restriction volontaire imposant des niveaux de contingentement pour les importations de machines-outils en provenance du Japon, de la Suisse et de Taiwan (Province de Chine), et des efforts budgétaires en vue de la mise au point de la prochaine génération de dispositifs de commande informatisée pour les machines-outils; par ailleurs, il interdisait au Département de la défense tout achat de machines-outils à l'étranger. US Industrial Outlook 1989/1990, pages 20-21.

En raison de son impact sur les industries utilisatrices, l'existence d'une industrie nationale concurrentielle de la machine-outil peut offrir certains avantages à l'industrie mécanique locale. Cependant, dans la plupart des cas, il n'existe pas de relation claire entre la compétitivité de l'industrie de la machine-outil d'un pays et celle de ses industries mécaniques. Dans la plupart des pays industrialisés, à l'exception du Japon, le pourcentage des machines-outils achetées localement par l'industrie mécanique tend à être limité par la spécialisation de plus en plus marquée de l'industrie 7/. Globalement, il apparaît 8/ que l'industrie mondiale de la machine-outil représente un élément majeur de transmission de la technologie au secteur de la transformation des métaux et de l'industrie mécanique.

2. Classification des produits de l'industrie de la machine-outil

Alors que les machines sont généralement consacrées à la fabrication d'un produit spécifique, les machines-outils peuvent être définies par leur aptitude à exécuter un processus spécifique. Au niveau le plus modeste, les machines-outils produisent des vis, tournevis, écrous et boulons, etc.; à un niveau plus sophistiqué, elles produisent des presses, des machines de coulée et des robots pour les aciéries, l'industrie automobile et l'électronique. Outils producteurs d'autres outils, les machines-outils constituent les éléments fondateurs de l'industrie.

Il existe quelque 3 000 types différents de machines-outils, qui diffèrent selon leur finalité, leur dimension, leur poids, leur mode de commande et leur prix. Cette diversité s'est accrue au cours des années 9/.

L'industrie de la machine-outil est apparue en Angleterre vers la fin du XVIIIe siècle avec l'avènement de la révolution industrielle 10/. *"L'invention et le perfectionnement des machines-outils était une partie essentielle de la révolution industrielle. La machine à vapeur, le matériel ferroviaire, les machines textiles et les autres machines de l'industrie manufacturière exigeaient des machines-outils, et c'est cette demande qui a stimulé les grands progrès réalisés en ce qui concerne l'invention des machines-outils..."*

7/ Jacobsson: "Intra Industry specialization and development model for the capital goods sector", in Weltwirtschaftliches Archiv Band 124 (1988).

8/ Jacobsson S.: "Technological Change in the machine tool industry, implications for industrial policy in developing countries", dans New Technologies and global industrialization PPD.141, novembre 1989, ONUDI.

9/ Pour l'étude de cette évolution, voir : Huq M. et Prendergast C. Machine tool production in developing countries, Edinburgh Scottish Academic Press, 1983; dans le cas des Etats-Unis d'Amérique, N. Rosenberg : Technological change in the machine tool industry 1840-1910, Journal of Economic History Vol XXIII:4 décembre 1963.

10/ Avant la révolution industrielle, les machines-outils étaient utilisées essentiellement pour la production d'armes, surtout de canons de mousquets et de pièces d'artillerie. La première machine-outil actionnée mécaniquement était une perceuse actionnée par un moulin à eau, servant à forer des canons de mousquets et de pièces d'artillerie (1540).

En 1775. les machines-outils dont disposait l'industrie n'étaient guère plus perfectionnées que celles du Moyen-Age : en 1850. la majorité des machines-outils modernes étaient inventées." 11/

Les innovations ont toujours joué un rôle important au cours des ans. mais elles ont été considérablement accélérées durant les périodes de guerre, où l'on a non seulement perfectionné les machines-outils existantes, mais créé de nouvelles machines-outils pour répondre aux exigences de la production d'armes nouvelles.

Les machines-outils peuvent être classées selon i) leurs fonctions et ii) leur mode de commande.

2.1. Classification selon la fonction

On distingue principalement : i) les machines-outils fonctionnant par enlèvement de métal et ii) les machines-outils fonctionnant par déformation de métal (Encadré 1).

2.1.1. Machines-outils fonctionnant par enlèvement de métal

Ces machines sont utilisées pour enlever l'excédent de matière d'une pièce de métal afin d'obtenir une pièce ayant la dimension et la forme voulues. Elles comptent pour plus de 80% des machines-outils actuellement utilisées (voir tableau 3).

L'enlèvement de métal peut être effectué par différents types de machines-outils. La plus ancienne et la plus largement utilisée est le tour, appelé communément au XVIIIe siècle tour mécanique (engine lathe), car c'était la première machine mue par la machine à vapeur de Watt. Alors que le tour engendre une surface de révolution à l'extérieur de la pièce usinée, l'aléreuse engendre une surface de révolution à l'intérieur de cette pièce. Ces machines ont été étroitement associées l'une à l'autre depuis la première révolution industrielle, et c'est la machine de Wilkinson qui a permis la construction de la machine à vapeur. Les types plus élaborés de tours et d'aléuses ont été mis au point en réponse aux exigences des industries textiles et des chemins de fer.

Des machines plus légères et plus spécialisées à grande vitesse ont été mises au point au cours du XIXe siècle. Jusqu'aux années 1860. la production massive de pièces mécaniques était surtout concentrée dans les fabriques de matériel militaire. C'est aux Etats-Unis dans les années 1840 que l'on a pour la première fois utilisé largement les tours à tourelle revolver équipés d'une tourelle rotative portant jusqu'à 8 outils de coupe, ainsi que le tour automatique, conçu pour la production de masse 12/. La guerre civile américaine (1861-1865) encouragea leur diffusion et en 1870 ces machines

11/ K.R. Gilbert: Machine tools, in A History of Technology, V.4 ed. C. Singer et al. Oxford University Press, 1958.

12/ En 1853 a été construite l'usine de S. Colt, alors la plus grande du monde.

étaient largement utilisées en Europe. Cette évolution technologique s'est accompagnée d'un changement dans l'organisation de la production, avec l'introduction du système de production américain, qui mettait surtout l'accent sur la production répétitive, par opposition au système anglais, fondé sur la fabrication unitaire ^{13/}; dans ce nouveau système, l'aspect essentiel de la production était la duplication exacte par le recours à des caractéristiques, à des outils et à des calibres communs.

Encadré 1 : Principales machines-outils

A enlèvement de métal

Tours
Machines à fraiser
Machines à percer
Machines à aléser
Machines à rectifier
Centres d'usinage
Taillage de pignons
Brochage
Affûtage et brochage
Découpe physico-chimique

A formage de métal

Presses
Machines à cisailer, à
grignoter et à encocher
Machines à cintrer et à
former
Machines à forger et à
emboutir

Le tableau 2 présente les résultats des inventaires effectués aux Etats-Unis d'Amérique (1988), au Japon (1987), au Royaume-Uni (1987) et en France (1986). C'est aux Etats-Unis d'Amérique que l'on trouve le plus de machines-outils, les industries mécaniques (qui comprennent le sous-secteur de l'industrie des machines-outils) comptant dans ce pays pour 50% de la capacité installée totale. La situation est analogue au Royaume-Uni (43,1%) et en France (25,6%). Au Japon, 34,6% des machines-outils sont employées dans les industries des matériels de transport, tandis que la part de ce secteur n'est que de 16% au Royaume-Uni et aux Etats-Unis d'Amérique et de 24% en France.

Durant la deuxième moitié du XIXe siècle, l'invention d'un certain nombre d'équipements non militaires comme la machine à coudre, la machine à écrire, la bicyclette et enfin l'automobile, qui exigeaient des degrés beaucoup plus élevés de précision et en même temps faisaient l'objet d'une demande très dynamique, a rendu leur interchangeabilité souhaitable, sinon indispensable ^{14/}. Ainsi, le nouveau système de production a été rapidement étendu de la manufacture d'armes à celle de produits de consommation durables ^{15/}.

^{13/} Voir chapitre III du présent document.

^{14/} David Landes: The unbound Prometheus, technological change and industrial development in Western Europe from 1750 to the present, Cambridge University Press, 1972, p. 308-310.

^{15/} Tel était particulièrement le cas des tours revolver (à tourelle multiple), et des nouvelles machines de perçage et d'alésage.

Tableau 2 :

Stocks de machines-outils aux Etats-Unis, au Japon, au Royaume-Uni et en France

	Etats-Unis 1988		Japon 1987		Royaume-Uni 1987		France 1986	
	nombre	%	nombre	%	nombre	%	nombre	%
Produits								
métalliques	320699	13,8	61207	7,7	173497	22,9	203427	33,1
Industries								
mécaniques	1157009	49,7	247231	31,2	326077	43,1	157484	25,6
Electricité, électronique	425208	18,3	133175	16,8	105829	14,0	71111	11,6
Matériels de transports	378993	16,3	274060	34,6	123733	16,4	147622	24,0
Matériel de précision	28682	1,2	42994	5,4	27247	3,6	34436	5,6
Divers	16190	0,7	34308	4,3		0,0		0,0
Total	2326781	100,0	792975	100,0	756383	100,0	614080	100,0

Sources : Compilation des inventaires nationaux des machines-outils publiés par les organismes suivants :
 Ministère du commerce et de l'industrie (Japon)
 Metal Working Production (Royaume-Uni)
 Bureau d'informations et de prévisions économiques (France)
 American Machinist (Etats-Unis).

En raison de sa grande capacité de production de masse, la fraiseuse est devenue la principale machine-outil largement utilisée dans la production mécanique 16/. La demande de cette machine a débuté au cours de la guerre civile américaine, et plus tard elle est devenue un équipement standard dans la production de machines à coudre. La rectification, opération très lente, constituait un goulet d'étranglement dans la production manufacturière. Jusqu'à l'avènement des machines à rectifier, on disait 17/ que les outils à main pouvaient concurrencer les machines-outils sur le plan de la précision. La machine à rectifier universelle a été conçue en 1875, et sa diffusion a été intimement liée à l'accroissement de la demande de bicyclettes (roulements à bille) et d'automobiles. Aucune autre production, avant l'automobile, n'avait exigé des travaux aussi compliqués en quantités aussi grandes. La mise au point de l'industrie des véhicules à moteur a eu un impact très significatif sur celle des machines-outils (rectification des arbres à cames). La découverte de l'acier rapide, qui a grandement amélioré la capacité de coupe, a obligé à revoir la conception de la machine-outil et a conduit à la production de la machine à tailler les pignons en 1890, machine permettant de

16/ Bertrand Gille: Histoire des Techniques, La Pléiade, Gallimard, 1978, p. 836.

17/ Bertrand Gille, op.cit., p. 836.

tailler simultanément toutes les dents des pignons. Parmi les autres machines à enlèvement de métal, il faut citer les scies mécaniques, les machines à brocher et les machines à polir.

La plus largement utilisée des méthodes non traditionnelles de formage des métaux est l'usinage par électro-érosion, qui applique au métal les effets de désintégration d'un arc électrique. Par un contrôle précis de l'apport d'énergie électrique, on parvient à usiner les pièces avec des tolérances très étroites. Cette technique est utilisée pour fabriquer des matrices et des moules et percer des trous fins dans les alliages d'acier à haute résistance, ainsi que pour produire des formes complexes. L'usinage électrochimique est une technique d'une excellente rentabilité qui élimine plusieurs opérations lentes et permet l'usinage d'alliages très durs utilisés dans les industries comme l'aérospatiale (usinage des composants en titane utilisés dans les réacteurs). L'industrie des moteurs y recourt pour des opérations d'ébarbage des pignons et des bielles. Parmi les applications de l'usinage ultrasonore, il faut citer le perçage de trous non circulaires dans les matières telles que le verre, les céramiques et les autres matériaux durs non conducteurs. L'usinage au plasma permet des vitesses de coupe très élevées, et l'usinage au laser est surtout utilisé dans la microélectronique et dans le soudage de précision. L'usinage au faisceau électronique est limité au percement de trous très fins; le brunissage est utilisé pour la finition interne des longs tubes et l'alésage profond pour la production de trous dont la longueur est plus grande que le diamètre.

2.1.2. Machines-outils fonctionnant par déformation de métal

Ces machines permettent de façonner le métal sans utiliser d'outils de coupe, par pressage, forgeage, cintrage, cisailage, etc. Les plus largement utilisées sont les presses, qui comptent pour 50% environ de ce type de machines-outils et diffèrent selon le système de transmission de la force motrice utilisée (transmission hydraulique, mécanique ou pneumatique). Les principales catégories de machines de déformation de métaux du Japon et du Royaume-Uni sont indiquées au tableau 4.

2.1.3. Evolution de la structure de la demande

Les parts de marché des machines-outils à enlèvement de métal (75% de la demande totale) et des machines de déformation de métal (25%) sont demeurées constantes à travers le temps; cependant, leur structure par sous-groupes a évolué.

Les figures 1 et 2 indiquent l'évolution de la demande mondiale en valeur et en volume en 1980 et 1988 ^{18/}. En raison de l'évolution des machines multifonctionnelles, la demande a légèrement diminué en ce qui concerne la part des machines de tournage, d'alésage et de perçage. D'autre part, des progrès sensibles des parts de marché ont été réalisés en ce qui concerne les centres d'usinage et les machines à électro-érosion.

^{18/} Adaptation de l'étude des consultants en matière de gestion de W.S. Atkins: Strategic study on EC machine tool sector, mai 1990, Rapport soumis à la Commission des Communautés européennes.

Tableau 3 :

Machines-outils à enlèvement de métal utilisées

(unités)	<u>au Royaume-Uni</u>	<u>aux Etats-Unis</u>
	1986	1988
Tournage	164221	404434
Perçage	124011	285006
Fraisage	80250	249106
Rectification	79780	434847
Sciage et découpage	55308	204654
Alésage et fraisage	30546	
Vissage, taraudage et filetage	16823	41483
Rabotage, limage et mortaisage	12305	
Taille de pignons	11659	29509
Centres d'usinage	10354	53585
Affûtage et rodage	9269	48537
Coupe physico-chimique	8772	19306
Construction unitaire et transfert	4518	48060
Brochage	3799	16698
Total pour les machines à enlèvement de métal	611615	1870753

Sources : Compilation des inventaires nationaux des machines-outils publiée par :
Metal Working Production (Royaume-Uni);
American Machinist (USA).

Tableau 4 :

Machines-outils à déformation de métal en service

<u>au Royaume-Uni</u>		<u>au Japon</u>	
	1986		1987
Cintrage et formage	30466	Presses mécaniques	69710
Presses hydrauliques	19872	Presses hydrauliques	36295
Presses pneumatiques	5881	Machines à cintrer	11714
Presses mécaniques	39595	Machines à cisailer	11522
Poinçonnage et cisailage	32658	Machines à forger	8066
Forgeage et emboutissage	3479	Machines à tréfiler	6145
Divers	13505	Divers	44937
Total pour la déformation de métal	145456	Total pour la déformation de métal	192038

Sources : Compilation des inventaires nationaux des machines-outils publiée par :
Ministère du commerce et de l'industrie (Japon);
Metal Working Production (Royaume-Uni).

Figure 1 : Demande mondiale par type de machine, en valeur

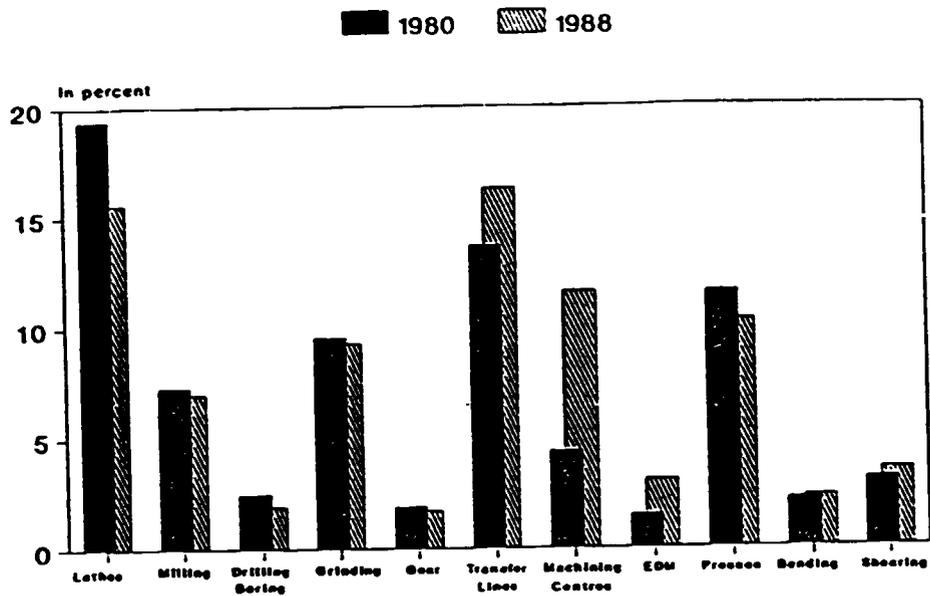
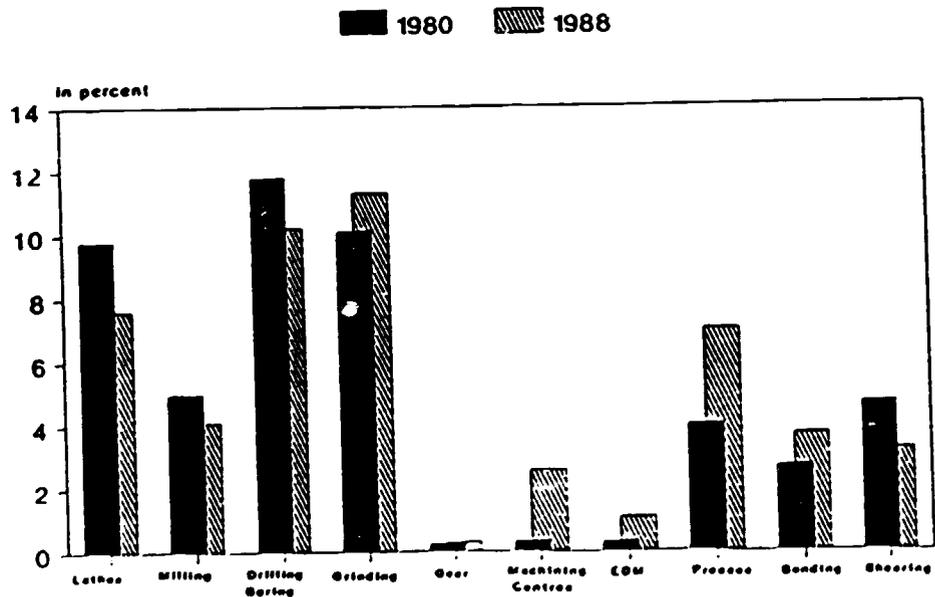


Figure 2 : Demande mondiale par type de machine, en volume



Source : VDW/IFO Institute (Etude de la Communauté économique européenne).

2.2. Classification selon le mode de commande

Selon le mode de commande, on peut distinguer les machines-outils classiques, automatiques et à commande numérique.

2.2.1. Machines-outils classiques

Ces machines sont commandées par un employé qualifié qui étudie un plan et commande manuellement la machine en se fondant sur sa pratique de la machine-outil et sur l'interprétation qu'il fait du croquis. L'ouvrier constate la réaction des machines au moyen de ses organes des sens : toucher, ouïe et vue. Pendant tout le XIXe siècle, le progrès technique en matière d'usinage a été le fait d'opérateurs ingénieux qui ont doté les machines-outils elles-mêmes d'un certain degré d'"intelligence" : alimentation automatique, arrêt automatique, cames mécaniques, etc., les rendant ainsi partiellement autonomes. Ces dispositifs dispensaient l'opérateur de certaines tâches manuelles tout en lui laissant la maîtrise du fonctionnement de la machine. Grâce à l'emploi d'un outillage élaboré, des dispositifs permettant de maintenir la pièce dans la position appropriée pour la coupe et de calibres pour guider la trajectoire de l'outil de coupe, il s'est révélé possible de recourir à des ouvriers moins qualifiés pour conduire les machines par enlèvement de métal après positionnement de la pièce par un ouvrier plus qualifié. L'initiative intelligente demeurait le fait du travailleur qualifié responsable de la machine.

En dépit de la diffusion des machines à commande numérique, les machines-outils classiques comptent encore pour 9 sur 10 du total des machines-outils installées dans les industries mécaniques des pays industrialisés 19/.

2.2.2. Machines-outils automatiques

Avec l'introduction d'outils faits de nouveaux matériaux au début du XXe siècle, il est devenu possible d'accroître la vitesse de travail, et de mettre en service des machines-outils automatiques. Ces machines sont généralement conçues à des fins spécifiques pour exécuter une séquence déterminée d'opérations utilisant un maximum d'accessoires et d'outils.

L'automatisation a été l'une des principales innovations durant la seconde guerre mondiale. Elle a encore été développée et perfectionnée dans les années 50 dans deux directions différentes : la machine-transfert et la machine-outil à commande numérique.

La machine-transfert est un système combiné de traitement et de manutention des matériaux, comprenant plusieurs machines-outils spéciales reliées par une chaîne de transfert. La pièce, qui est souvent un bloc moteur, progresse le long d'un convoyeur, et la machine-transfert peut effectuer chacune des principales opérations d'enlèvement de métal. Les chaînes de

19/ Voir chapitre III du présent document.

transfert sont bien adaptées aux organisations de type fordiste 20/ et leurs principales applications concernent la production de masse de biens de consommation durables. Cependant, elles sont coûteuses et leur achat ne peut se justifier que pour de très grandes séries de production. La progression des niveaux d'automatisation entraîne la nécessité d'allonger de plus en plus les séries de production utilisant des machines à fin unique; cette situation constitue ce qu'on appelle le "dilemme de la productivité" 21/.

La grande série compte pour moins de 20% du total de la production des industries mécaniques. La plupart des produits sont fabriqués en petite série 22/. Ainsi, les usines de construction mécanique utilisent des machines-outils multifonctionnelles, soit de qualité médiocre, mais ayant une productivité (machines de dégrossissage), soit de qualité supérieure, mais ayant une faible productivité (machines de finition). Ces usines, exploitées manuellement, mais très souples et travaillant à la demande, sont caractérisés par de longues durées de fabrication, de gros stocks de produits en cours de réalisation et un faible taux d'utilisation des machines. Le grand défi en matière d'automatisation des machines-outils a été de les rendre autonomes tout en préservant leur adaptabilité. La solution a été de développer un mécanisme traduisant des signaux électriques en mouvements de la machine et un support pour stocker l'information en vue de la reproduction des signaux.

2.2.3. Machines-outils à commande numérique 23/

L'évolution technologique s'est surtout manifestée non par les progrès de l'usinage proprement dit, mais par ceux de la commande et de l'environnement des machines-outils. Ces techniques d'automatisation programmables, qui ont commencé par la commande numérique (voir encadré 2), recouraient à l'ordinateur pour commander le fonctionnement des machines. La première machine commandée par ordinateur a été mise en oeuvre dans le cadre d'un projet entrepris en 1949 sous les auspices du gouvernement au Laboratoire des servo-mécanismes de l'Institut de technologie du Massachusetts 24/. Les efforts du Japon ont débuté dans les années 50 avec une fraiseuse. L'automatisation comprenait deux processus distincts : la transmission à la machine de l'information enregistrée sur bande en vue d'assurer le déplacement voulu des plateaux et des outils de coupe, et l'enregistrement de l'information sur le support choisi. La technique de commande des machines pouvait être dérivée de celle de la commande des mitrailleuses, mais la préparation des bandes d'enregistrement était une chose totalement

20/ Le concept dit "fordiste" est associé à l'organisation d'une production massive de produits standardisés pour un marché relativement homogène.

21/ W. Albernathy: The productivity dilemma: roadblock to innovation in the automobile industry. John Hopkins University Press, Baltimore, 1978.

22/ Aux Etats-Unis, une étude a montré que 75% environ du total des pièces usinées étaient obtenues en séries de moins de 50 unités, avec un taux d'utilisation des capacités très médiocre.

23/ On trouvera plus de détails sur les tendances technologies au chapitre III du présent document.

24/ Les travaux de mise au point de machines-outils à commande mécanique ont débuté au Royaume-Uni en 1950, puis ont suivi la France et la République fédérale d'Allemagne vers 1955.

Encadré 2 : La CN : principales définitions

i) Usinage sous commande numérique (CN). Un processus de fabrication commandé d'une façon répétitive fixe par l'exploitation de données d'entrée numériques.

ii) Commande numérique par ordinateur (CNC). Processus dans lequel des machines-outils utilisent individuellement un dispositif de commande informatisée pour stocker et exécuter des instructions de fonctionnement (par exemple choix des outils de coupe, de la vitesse et des taux d'approvisionnement) avec chargement et contrôle manuels. Un système de CNC est essentiellement un système de CN rendu flexible par le fait qu'un ordinateur, remplaçant le logiciel fixe qui est au coeur du système de CN, peut être programmé pour l'introduction de toute une série de modifications intéressant le type de la machine ou son utilisation.

iii) Le contrôle numérique direct (CND). Dans un système de CND, un certain nombre de machines à CN sont reliées à un ordinateur central, lequel sous sa forme la plus simple n'est peut-être qu'un séquenceur avec banque de données pour le stockage de routines, mais sous sa forme la plus complexe peut être pourvu en outre de fonctions d'entretien et de commande de machines individuelles.

iv) Le centre d'usinage avec indexage automatique du changeur d'outils est l'un des dérivés les plus importants de la CN. Traditionnellement, les pièces étaient mobiles et allaient d'une machine-outil à la suivante; dans un centre d'usinage, la pièce est fixe et les porte-outils sont mobiles. Les centres d'outillage sont pourvus de systèmes automatiques de changement d'outils permettant de choisir de 20 à 100 outils qui percent, alèsent, fraisent et taraudent. Un centre muni d'une tête rotative et de plateaux peut usiner de nombreuses surfaces d'une pièce en une seule et même configuration.

v) Le système flexible d'usinage (SFU) est un complexe intégré géré par ordinateur de machines-outils à CN, de dispositifs automatisés de manutention des matériaux et des outils et d'équipements automatisés de mesure et d'essai qui, avec un minimum d'interventions manuelles et avec des durées de changement très brèves, peut usiner tout produit appartenant à certaines familles spécifiées, dans le cadre de sa capacité conceptuelle et selon un programme prédéterminé.

vi) La fabrication intégrée informatisée est un concept concernant une usine totalement automatisée dans laquelle tous les processus sont intégrés et commandés par un système de CAO/FAO. Ce système met en oeuvre un logiciel et un matériel qui globalement interviennent dans la conception du produit, la planification de la production, la commande de la production, l'équipement de la production et le processus de production.

nouvelle 25/. La première solution viable était celle du "repassage de bande": elle impliquait l'intervention d'un opérateur qui exécutait une pièce tandis que l'on enregistrait sur bande magnétique les déplacements de la machine qu'il conduisait. Après l'exécution de la première pièce, des pièces identiques pouvaient être faites par repassage de la bande enregistrée. La seconde solution, la commande numérique, était fondée sur une philosophie de production entièrement différente. Les spécifications concernant la pièce étaient d'abord exprimées sous forme mathématique. Puis une description mathématique de la trajectoire à donner à l'outil était définie et sur cette base des valeurs discrètes permettant de guider les mouvements de la machine-outil étaient établies. Ces instructions discrètes étaient ensuite traduites en un code numérique et stockées sur la bande. Ainsi le choix de la solution "commande numérique" court-circuitait l'intervention de l'opérateur comme source d'intelligence de la production.

Alors que dans une machine-outil classique l'information de commande est transférée directement à la machine par l'opérateur puis de la machine à la pièce usinée, ce qui pose le problème des limites (de temps, de rigidité des mouvements et de répétition de l'opération) propres à l'homme et à la machine, dans une machine-outil à commande numérique ces informations sont traduites dans le langage symbolique écrit du microprocesseur, qui établit les programmes de travail détaillés en vue de produire selon les spécifications du concepteur (voir encadré 3). Il suffit de modifier les instructions pour faire passer la machine de la production d'une pièce à une autre. La machine-outil à CN assure le positionnement automatique du composant, le choix de la vitesse et la commande des déplacements de l'outil. Dans les centres d'usinage et les centres de tournage, l'outil approprié est choisi, inséré et changé. Les cellules flexibles d'usinage assurent la manutention automatique des pièces, tandis que les systèmes flexibles de fabrication effectuent en outre le transfert de la pièce d'une machine à une autre.

Le choix du niveau d'automatisation est fonction de l'importance de la tâche moyenne et du degré de flexibilité requis, comme l'indique la figure 3 26/.

Les industriels produisant en grandes quantités un petit nombre de types de pièces recourent à des machines spécialisées (par exemple la chaîne de transfert). Mais quand de nombreuses variantes de la pièce sont produites en très petites quantités, la solution la plus économique est de recourir aux machines-outils classiques ou à des machines-outils à commande numérique utilisées isolément. Les pressions qui influencent les besoins de machines-outils à destination spécialisée et de machines-outils à destination générale amènent progressivement les usagers à choisir un type de capacité de production combinant la flexibilité réalisable avec des machines à destination générale et la compétitivité du matériel de fabrication de masse au niveau des coûts. Deux types de solutions à cet égard ont été identifiés : un système flexible d'usinage à destination spécialisée tel que la chaîne de transfert adaptable de l'industrie automobile et le système flexible d'usinage à destination générale composé de machines à destination générale à CNC.

25/ David F. Noble: Social choice in machine design: the case of the automatically controlled machine tools, dans The Social Shaping of Technology, publié par Donald Mackenzie et Judy Waschman, Open University Press, 1985.

26/ Hermann Traub GmbH, Maschinen Fabrik, dans OCDE Technology and international competitiveness: an interpretation of the relationship in machine tool industry, OCDE, Paris, 1984, p. 40.

Encadré 3 : Evolution technologique

Le tableau ci-après indique comment les diverses opérations ont été automatisées et informatisées à mesure que de nombreuses générations de machines se succédaient.

Opérations manuelles (M) et automatisées (A)

	Usinage manuel	Usinage semi- automatisé	CNC	Centre d'usinage	SFU
Transfert	M	M	M	M	A
Chargement	M	M	M	M	A
Positionnement de composants	M	M	A	A	A
Opération de coupe	A	A	A	A	A
Manutention des outils	M	A	A	A	A
Choix des outils	M	M	M	A	A
Déchargement	M	M	M	M	A

Adaptation de l'étude de Camagni : Il Robot, Lombardo Milan 1987.

Figure 3 : Du classique à l'automatique

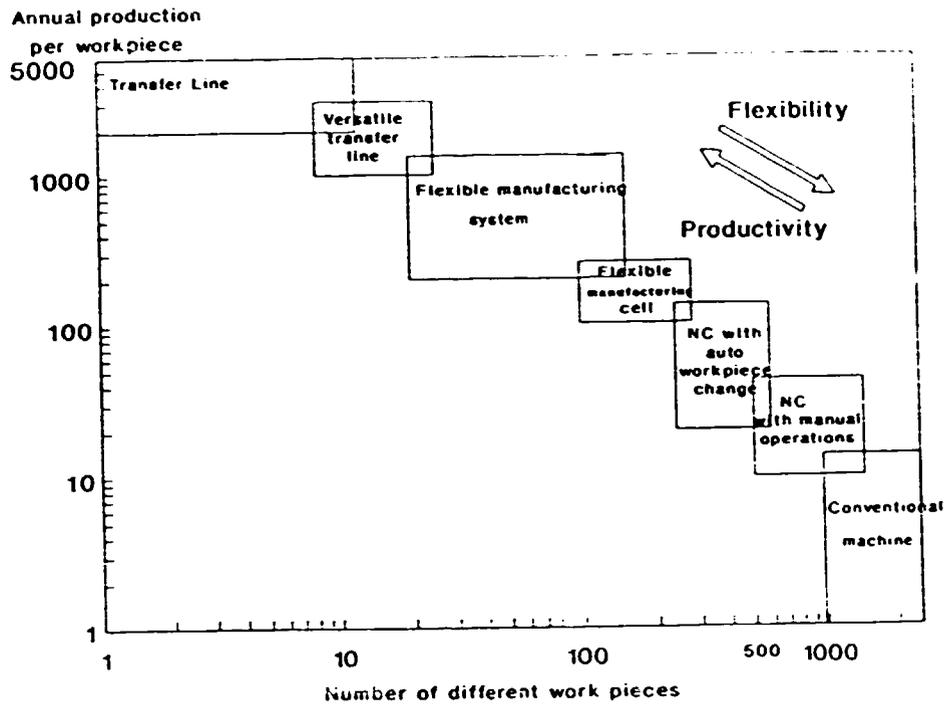
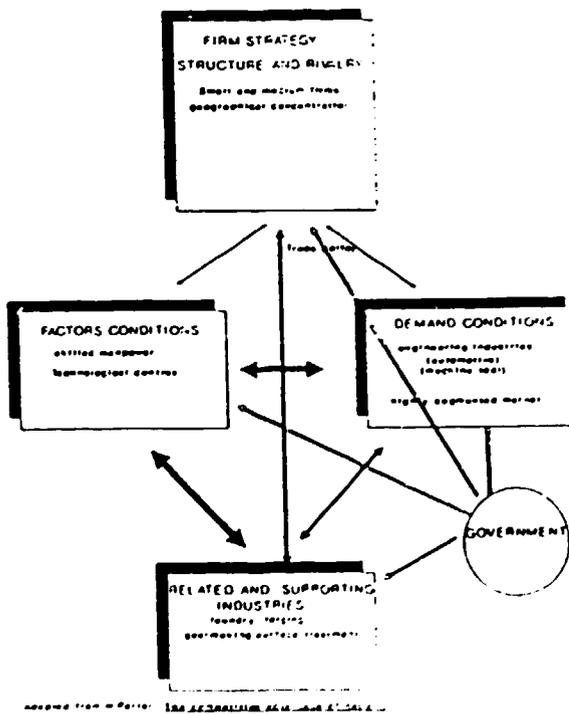


Figure 4 : Le losange de l'industrie des machines-outils



3. Caractéristiques de l'industrie des machines-outils

3.1. Une industrie parvenue à maturité

L'industrie de la machine-outil possède certaines des caractéristiques d'une industrie parvenue au stade de la maturité ^{27/} : progression lente de la production, taux d'innovation des produits relativement faible et concurrence de plus en plus forte des pays en développement.

L'industrie s'appuie sur des technologies de transformation mécanique éprouvées, avec un petit nombre d'exceptions (par exemple le découpage au laser), et le progrès technologique est évolutif plutôt que révolutionnaire. Le taux d'investissement dans la R-D est en moyenne de l'ordre de 4 à 5% du chiffre d'affaires annuel; les producteurs de machines répondant à des spécifications très particulières effectuent d'importants travaux de développement du produit pour chaque machine vendue, tandis que les entreprises engagées dans la production de masse, qui fabriquent des produits ayant des cycles de vie utile relativement brefs, s'efforcent d'obtenir par la R-D des avantages à court terme sur leurs concurrents. L'industrie emprunte les innovations technologiques mises au point par d'autres industries (notamment l'industrie électronique). Cependant, et par opposition à d'autres industries arrivées à maturité, les qualifications de la main-d'oeuvre requise tendent à être plus élevées que le niveau moyen.

3.2. Dimension économique

La part de l'industrie de la machine-outil dans le PIB est inférieure à 1% dans la plupart des pays industrialisés (tableau 5), et sa part de la valeur ajoutée manufacturière fluctue entre 1 et 3%. Au Japon, la production de machines-outils compte pour 1,2% de la production de l'industrie des machines et équipements.

L'industrie se caractérise par sa nature cyclique, qui résulte de l'effet multiplicateur des commandes et annulations dues à la nature également cyclique des débouchés de la clientèle. Lorsque les capacités de production sont pleinement utilisées, une variation de 10% de la demande de biens de consommation peut provoquer une variation de 40% de la demande de biens d'équipement ^{28/}. Aux Etats-Unis, le nombre de salariés de l'industrie des machines-outils fonctionnant par enlèvement de métal a oscillé entre 45 000 et 85 000 au cours des 20 dernières années; des variations moins prononcées ont été observées en Allemagne (RFA) où l'industrie emploie 100 000 travailleurs. Cette caractéristique dissuade nombre de travailleurs doués de s'engager dans cette industrie en raison des gros risques de licenciements périodiques.

^{27/} Pour une définition de l'industrie parvenue au stade de la maturité, voir Industry revival through technology, OCDE, Paris 1987.

^{28/} B. Real: Technical Change and Economic Policy, the machine tool industry, OCDE, Paris 1980.

Tableau 5 : L'industrie de la machine-outil dans certains pays

	Valeur ajoutée en % du PIB	Nombre d'entreprises	Emploi en 1988	Production en 1989 (millions de dollars)
<u>Pays industrialisés</u>				
Japon	0,27	*111	34 300	9 817
Allemagne (RFA)	0,65	n.a.	94 000	6 859
Etats-Unis	0,06	500	55 000	3 270
Italie	0,28	303	15 920	3 067
Suisse	1,00	137		1 797
Royaume-Uni			23 000	1 597
France			10 005	1 081
Espagne		120	7 700	795
Suède	0,23	33	3 000	403
<u>Pays en développement</u>				
Taiwan, Prov. de Chine		210	10 000	1 016
Chine, Rép. pop.		**200		832
Rép. de Corée		47	18 000	760
Brésil		110		458
Inde		***319	60 000	262
Argentine		36		38

Sources : Statistiques des diverses associations de producteurs.

* Nombre d'adhérents des associations japonaises de constructeurs de machines-outils

** Grandes entreprises seulement

*** Nombre d'adhérents de l'Association indienne des producteurs de machines-outils.

3.3. Déplacement des limites de l'industrie : de la mécanique à la mécatronique

Jusqu'aux années 70, l'industrie de la machine-outil pouvait indiscutablement être considérée comme un sous-secteur de l'industrie des machines non électriques. L'introduction de l'électronique a repoussé les "limites" de l'industrie. Elle a modifié les activités des entreprises, dont la plupart s'engagent aujourd'hui dans l'achat de nombreux composants, particulièrement de systèmes de commande électronique, et recrutent des informaticiens pour résoudre leurs problèmes de logiciels. On peut trouver une illustration de cette évolution dans la liste des principales sociétés productrices de machines-outils du monde, dont la plus importante était en 1988 la société japonaise FANUC (tableau 7). La FANUC n'est pas généralement considérée comme un producteur de machines-outils car son activité porte essentiellement sur la fabrication de systèmes de commande numérique. Les besoins de logiciels des machines-outils à commande numérique ont créé des possibilités de pénétration de nouvelles entreprises dans ce secteur industriel ^{29/}.

L'industrie de la machine-outil peut aujourd'hui être considérée comme un sous-secteur du secteur mécatronique, qui combine la production mécanique et l'électronique ^{30/}. Dans les prochaines années, de nouvelles modifications surviendront avec l'introduction de nouveaux matériaux en remplacement de l'acier dans l'industrie mécanique, ce qui pourrait entraîner l'apparition de nouveaux intervenants dans l'industrie.

3.4. La structure de l'industrie

3.4.1. Structure du marché

Le marché des machines-outils est fortement différencié et diverses stratégies peuvent coexister dans ce secteur industriel. Il existe une trentaine de grandes catégories des machines-outils et une série de sous-catégories liées à des processus spécifiques. Les technologies de production et les caractéristiques de conception diffèrent d'un type de produit à l'autre, ce qui a entraîné la spécialisation en filières étroites de production pour des marchés particuliers. Une étude du Boston Consulting Group ^{31/} identifie près de 100 segments industriels stratégiquement différents, comprenant un nombre beaucoup plus grand de sous-segments (voir encadré 4):

^{29/} Notamment ALLEN BRADLEY, mais également GENERAL ELECTRIC et DIGITAL EQUIPMENT, qui travaillent en coentreprises avec COMAU.

^{30/} Document édité par Mick Mc Lean : Mechatronics, development in Japan and Europe, publié par Frances Pinter, Londres 1983.

^{31/} Boston Consulting Group: Strategic study of the machine-tool industry février 1985. Cette étude, effectuée pour la Commission des Communautés européennes, a été remise à jour par WS Atkins Management Consultant en association avec IFO-Institute (RFA), BIPE (France), Prometeia (Italie) et Imaco (Espagne): Strategic study on the EC machine-tool sector, Bruxelles, mai 1990.

Encadré 4 : Différentiation du marché

Il n'existe pas un marché unique de la machine-outil, mais plusieurs marchés qui peuvent être classifiés selon les critères suivants :

- degré de spécialisation de la machine : un tour classique a une destination universelle, tandis que certaines machines sont réalisées spécialement pour une application unique
- son volume de production : un centre d'usinage est bien adapté à la production en petite série de produits différenciés; les machines transferts sont utilisées dans la production en masse.
- potentiel d'écoulement : les producteurs capables d'investir fortement ont plus de chances de s'imposer sur les marchés importants.

Le tableau ci-après indique les principaux facteurs concurrentiels des trois principaux segments, ainsi que les principaux fournisseurs et les perspectives d'évolution de la demande mondiale sur ces marchés.

	MACHINES CLASSIQUES	MACHINES A CN CENTRE D'USINAGE UNIVERSEL	MACHINES CLASSIQUES A CN SPECIALISEES
PRINCIPAL FACTEUR CONCURRENTIEL	PRIX	PRIX/ TECHNOLOGIE	TECHNOLOGIE
PRINCIPAUX FOURNISSEURS	PAYS D'ASIE ORIENTALE EUROPE ORIENTALE	JAPON	ALLEMAGNE (RFA)
PART DU MARCHE MONDIAL	16%	36%	48%
CROISSANCE A MOYEN TERME	ralentit	progresse	progresse

Adapté de l'étude de P. Frémeaux et R. Touboul : Machine outil 90. les enjeux BIPE Paris 1990.

- A l'extrémité supérieure, la demande est hautement spécifique et la production limitée à un petit nombre de machines : la force des entreprises réside dans leur équipe de conception et dans leurs dispositifs de service après-vente. Les frais généraux sont relativement élevés (45 à 50% des dépenses d'exploitation). Ces facteurs restreignent la rentabilité durant les périodes de récession cycliques de la demande et avantagent les entreprises flexibles de taille moyenne par rapport aux grandes entreprises.
- Par contre, dans les marchés de masse de produits standards, le prix est le facteur le plus important de la concurrence. Les entreprises visent à maintenir les frais généraux à un minimum. Cette situation avantage les plus grosses entreprises.

3.4.2. Petites industries

L'industrie de la machine-outil est une industrie idéale pour les ingénieurs et producteurs dynamiques, et beaucoup ont fondé de petites entreprises faisant appel aux capacités techniques plutôt qu'à une forte base financière. La présence de nombreuses petites entreprises a été rendue possible par les économies de production résultant de la production cumulative d'un modèle unique 32/.

Par suite de l'acquisition de techniques de CN par l'industrie des machines-outils, l'échelle économique de la production évolue. Grâce à l'introduction de la CAO/FAO et de l'installation de systèmes flexibles de fabrication, les Japonais ont atteint des volumes de production nettement plus élevés que la plupart des entreprises européennes et américaines. Alors que, dans le cas des tours, l'échelle efficace minimale de la production était estimée à 400 unités par an environ par le Boston Consulting Group en 1980, la production moyenne mensuelle de tours à CNC a atteint 200 au Japon 33/ contre 40 dans la plupart des pays européens. En ce qui concerne la fabrication de machines-outils à commande numérique, les volumes de production sont nettement supérieurs au Japon (encadré 5).

La dispersion structurelle de l'industrie (tableau 6) 34/ est plus prononcée en Europe et aux Etats-Unis. En Italie, selon les résultats d'une analyse statistique générale effectuée parmi un échantillon de 300 fabricants de machines-outils, sur un total de 450, 72% des entreprises emploient moins de 50 ouvriers. Les entreprises comptant moins de 200 travailleurs comptent pour 65% du total de l'emploi, 64% du total de la production et 57,6% des

32/ C.F. Pratten: "Economies of scale for machine tool-production" dans The Journal of industrial economics, Vol 19, 1970-1971, p. 148-165.

33/ Par exemple, la production de Hitachi Seiko se chiffre à 20 centres d'usinage et 150 grands centres de tournage par mois. Machinery and Production, avril 1989.

34/ Les comparaisons internationales sont compliquées par le fait que les statistiques nationales diffèrent quant à leurs techniques de recensement. Au Japon, on ne dispose d'aucune statistique pour les entreprises comptant moins de 50 salariés.

Tableau 6 : Structure de l'industrie de la machine-outil

Catégorie de taille	nombre	%	effectif	%	valeur ajoutée (%)
<u>Japon 1982</u>					
50-100	517	82,2	22 146	36,4	22,1
100-199	60	9,5	8 386	13,8	15,4
plus de 200	52	8,3	30 390	49,9	62,5
TOTAL	629	100,0	60 922	100,0	100,0
<u>Italie</u>					
1-199	290	95,7	10 450	65,6	63,9
plus de 200	13	4,3	5 470	34,4	36,1
TOTAL	303	100,0	15 920	100,0	100,0
<u>Allemagne (RFA) 1988</u>					
1-100	174	45,8	6 674	7,1	
101-250	91	23,9	13 536	14,4	
plus de 250	115	30,3	73 790	78,5	
TOTAL	380	100,0	94 000	100,0	
<u>République de Corée 1986</u>					
1-100	140	89,7	2 936	49,5	32,7
100-199	12	7,7	1 736	29,3	28,2
plus de 200	4	2,6	1 263	21,3	39,1
TOTAL	156	100,0	5 935	100,0	100,0

Source : MITI (Japon), UCIMU (Italie)
VDMA (RFA), EPB (République de Corée).

Encadré 5 : Economies d'échelle dans la production de machines-outils à CN au Japon

Dans une enquête sur 75 producteurs concernant les machines à enlèvement de métal et portant notamment sur plusieurs entreprises relativement petites productrices de machines spécialisées, la production mensuelle moyenne se chiffrait à 45 équivalents centres d'usinage. La production des grandes entreprises est beaucoup plus grande et se chiffre typiquement à 200 équivalents centre d'usinage par mois, et dans certains cas jusqu'à 400.

Une certaine entreprise moyenne, dont la production représente le quart de celle des plus gros producteurs, fonctionne actuellement dans les conditions suivantes :

- | | |
|--|-------------|
| - petite fraiseuse à tête articulable | 50 par mois |
| - tours à CNC (horizontaux, verticaux, revolver) | 60 par mois |
| - fraiseuses à CNC | 50 par mois |
| - centres d'usinage (horizontaux, verticaux et à pont) | 50 par mois |

Généralement parlant, on estime à 60 machines par an l'échelle minimale d'exploitation économique en site vierge. A ces niveaux, les entreprises japonaises fabriquent aussi bien des systèmes flexibles d'usinage que des centres flexibles d'usinage. La production en grande série de produits standardisés présente aussi l'avantage de permettre l'introduction des techniques d'approvisionnement sans stockage ("juste à temps" ou "stock zéro") et de calcul des besoins nets (CBN), qui ont accru l'efficacité de la production en améliorant la gestion des stocks.

Etabli sur la base du document : Strategic study on EC machine-tool sector, par WS Atkins Management Consultants, Bruxelles, mai 1990.

exportations de machines-outils. En Allemagne (ex-RFA), l'industrie de la machine-outil apparaît plus concentrée que dans la plupart des pays industrialisés. La taille moyenne d'une entreprise est 5 fois plus élevée qu'en Italie. Plus de 70% des entreprises peuvent être considérées comme moyennes (employant jusqu'à 250 personnes), cependant, elles comptent pour 22% du total de la production, tandis que les entreprises occupant plus de 500 travailleurs comptent pour 60% du total de la production. Beaucoup de ces entreprises sont issues de petites entreprises familiales, et bien que beaucoup demeurent indépendantes, un nombre de plus en plus grand sont affiliées à des conglomérats industriels. L'entreprise mère est souvent un groupe de construction mécanique qui intègre les producteurs d'outillage et effectue les investissements nécessaires pour conserver son avance technologique 35/.

Au Japon, selon le recensement industriel de 1982, 80% des entreprises participant à la production de machines-outils employaient moins de 50 travailleurs, et globalement ces petites entreprises employaient 40% de la main-d'oeuvre de l'industrie et produisaient 21% de la valeur ajoutée. La productivité de ces entreprises, mesurée par le ratio valeur ajoutée/emploi, était en moyenne inférieure de moitié à celle des entreprises occupant plus de 100 personnes. L'industrie japonaise de la machine-outil tend à recourir davantage à la sous-traitance que les fabricants européens et américains.

Dans les pays d'Europe orientale, la production s'est habituellement concentrée dans un petit nombre de grandes entreprises. La plus grande d'URSS, la Fabrique de machines-outils à enlèvement de métal de Sestoret'sk, emploie 4 000 ouvriers dans une même localité 36/. Dans l'ex-République démocratique allemande, qui en 1988 était le septième producteur mondial, la production de machines-outils, organisée en quatre combinats, employait au total quelque 80 000 ouvriers 37/. En Tchécoslovaquie, les entreprises sont importantes et fabriquent de larges gammes de produits : KOVOSIT, par exemple, compte 5 000 ouvriers répartis dans trois usines 38/.

Dans les pays en développement, on trouve plus fréquemment des complexes de machines-outils pleinement intégrés, et l'éventail de la production est souvent très large. Lorsque les premières entreprises ont été créées, elles ont été confrontées au manque de sources locales fiables de facteurs de production, tels que les pièces forgées et coulées qu'elles voulaient employer. Si la capacité (et son utilisation) est suffisamment grande, le rapport coût/rendement d'une usine intégrée sera acceptable, mais si l'utilisation des capacités est médiocre, l'usine ne tirera pas parti des économies d'échelle dans ces installations et sera incapable de répartir les coûts des éléments tels que les équipements d'essai sur une production suffisamment importante.

35/ MIT Commission on Machine tool working group.

36/ Machinery and production engineering, 5 janvier 1990.

37/ Etude annuelle de la Commission économique pour l'Europe, 1988.

38/ Machinery and production engineering: "Curtain raising build programmes", 1er septembre 1989.

Au Brésil, il existait en 1988 une centaine de producteurs de machines-outils dont les cinq plus grands assuraient un tiers de la production totale; en Argentine, deux entreprises comptaient pour 57% de la production de tours et trois sur un total de dix produisaient 44% des machines à fraiser 39/. En République de Corée, les quatre principales entreprises produisaient un quart de la production locale en 1986, alors qu'à Taiwan, Province de Chine, la plus grande partie de la production est assurée par de petites entreprises.

3.4.3. Principales entreprises

"Si tous les employés de l'industrie américaine de la machine-outil travaillaient pour une même entreprise, celle-ci viendrait au cinquantième rang parmi les sociétés industrielles américaines" : donc, selon les critères industriels, les principales firmes productrices de machines-outils ne sont pas de grandes entreprises.

Le tableau 7 fournit une liste des principales entreprises, classées selon les ventes mondiales de machines-outils et d'équipements étroitement liés à ces machines, comme les dispositifs de commande numérique; elle indique le total des ventes de l'entreprise ainsi que le nombre des salariés 40/. Si l'on exclut FANUC (fabricant de dispositifs de commande), les ventes de la principale entreprise, YAMAZIKI, représentent 1,8% des ventes mondiales de machines-outils 41/.

Les sociétés japonaises dominent la liste; elles sont beaucoup plus importantes au total que la plupart des producteurs européens ou américains et jouissent d'une synergie considérable avec d'autres parties de leur domaine d'activité. Il existe aussi de grandes entreprises familiales (par exemple YAMAZAKI MAZAK), mais la majorité sont soit des entreprises cotées en bourse soit des filiales d'entreprises plus importantes. La plus grande est FANUC, qui est le chef de file mondial dans le domaine de la commande numérique informatisée. AMADA est surtout une entreprise de construction mécanique et de commercialisation dont les produits incluent divers types de machines fabriquées à l'étranger. AMADA possède 19% d'AMADA SONOIKE et 20% d'AMADA WASINO, qui sont des entreprises de fabrication. YAMAZAKI MAZAK vient en première position parmi les entreprises uniquement occupées à la construction de machines-outils. OKUMA MACHINERY WORKS produit ses propres systèmes de commande numérique pour les machines qu'elle fabrique et commercialise certaines machines par le truchement de l'organisation AMADA; ses principales productions sont les tours et les centres d'usinage. MORI SEIKO concentre la plus grande partie de sa production dans une seule usine hautement automatisée

39/ F. Erber: The electronics complex and industrial automation: a comparison between Argentina and Brazil, ONUDI décembre 1989.

40/ Ces comparaisons se sont heurtées à de nombreux problèmes au cours de la période durant laquelle l'étude a été effectuée, notamment en raison des fluctuations des cours du change et du fait qu'une entreprise engagée principalement dans la production était classée côte à côte avec une entreprise assurant principalement la distribution.

41/ Dans le cas de l'industrie électronique, la principale entreprise, IBM, assure 15% de la production électronique mondiale. Electronics Business, juillet 1990.

Tableau 7 : Principales entreprises de production de machines-outils du monde

Millions de dollars		<u>Ventes de machines-outils</u>		<u>Total des ventes</u>	<u>Effectif employé</u>
		(millions de \$)		(millions de \$)	
		1989	1988	1988	
YAMAZAKI MAZAK CORP	Japon	1183	796	796	3000
FANUC LTD	Japon	1079	928	1055	1770
LITTON IND INC	Etats-Unis	730	600	4863	55000
AMADA CO	Japon	1153	891	1019	1509
CROSS AND TRECKER	Etats-Unis	456	428		4100*
COMAU SPA	Italie		380		3500
OKUMA MACHINERY WORKS	Japon	665	551	592	1753
CINCINATI MILACRON	Etats-Unis	424	361	860	8400*
MORI SEIKO CP	Japon	635	488		1570
TOYODA MACHINE WORK	Japon	466	418	1045	4367
DECKEL GROUP	RFA		350		
INGERSOLL WINING	Etats-Unis	366	345	400	4500
GILDMEISTER	RFA		313		
KONATSU MTD	Japon	474	398	5580	15801
MAKINO MILLING MACHINERY	Japon	318	270		951
AIDA ENGINEERING	Japon		247		684
AMADA SONOIKE MFG	Japon	390	307		537
TRUMPF GMBH	RFA	340	302		2122
HITACHI SEIKI	Japon	346	275		1237
FUJI MACHINE CO	Japon	392	241		717
TRAUB	RFA		234		
MAHO AG	RFA		232		1799
HUELLER HILL	RFA		223		
THE 600 GROUP	Royaume-Uni		191		
GELASON WORKS	RFA				3000
SODICK CO	Japon				473
AMCA INTERNATIONAL	Canada				9985
MAZDA MOTOR	Japon				28423
AMADA WASIMO MACHINE	Japon		287		404
MITSUBISHI HEAVY	Japon				46690
TOSHIBA MACHINE	Japon	359	256		3525
NIPPEI TOYAMA	Japon				1166
OKUMA & BOWA MACHINERY	Japon				573
CITIZEN WATCH	Japon	338			3348
MANDELLI IND SPA	Italie				710
WEAN UNITED	Etats-Unis				788
TSUGAMI CORP	Japon				831
OSAKA KIKO	Japon				1032
MONARCH MACHINE TOOL	Etats-Unis				913
TAKISAWA MACHINE TOOL	Japon				439
OKAMOTO MACHINE TOOL	Japon				544
ENSHU LTD	Japon				969
MET COIL SYSTEM	Etats-Unis				400
NEWCOR INC	Etats-Unis				689
BROTHER IND	Japon				5165
ECO COMPANIES	Etats-Unis				400
NIIGATA ENGINEERING	Japon				3125
BOWA MACHINERY	Japon				2287
BROWN AND SHARPE MFG	Etats-Unis				1891

* Y compris les ventes effectuées par des opérateurs étrangers.

Source : American Machinist août 1990, août 1989.

au Japon. TOYODA MACHINE appartient à TOYOTA MOTORS; les machines-outils représentent 40% du total des ventes, qui portent principalement sur des pièces d'automobiles. Une petite proportion de KOMATSU, qui est principalement un fabricant d'équipements lourds, est engagée dans la production de presses lourdes.

LITTON INDUSTRIES INC., qui emploie 55 000 salariés, est un conglomérat diversifié, qui comprend aussi LITTON INDUSTRIAL AUTOMATION SYSTEM (machines-outils et systèmes de manutention unitaires). CROSS AND TRECKER est aussi un conglomérat qui englobe plusieurs entreprises (CROSS, COLONIAL BROACH, DRILLUNIT, CROSS LASALLE, WARNER & SWASEY TURNING, WIEDEMAN, SHEFFIELD, TYCHOWAY, BEARINGS, ROBERS CORP et ALLIANCE AUTOMATION). Les ventes de machines-outils ne représentent que 41% du total des ventes de CINCINATTI MILACRON (qui était auparavant le premier producteur mondial de machines-outils).

COMAU Spa, qui est la principale société italienne et européenne, appartient au groupe FIAT. En Allemagne (ex-RFA), la principale entreprise est DECKEL, puis viennent TRUMPF, TRAUB et MAHO; quelques groupes importants de construction mécanique ont aussi une activité dans le domaine des machines-outils (MAN, INDUSTRIE WERKE).

La production d'unités de commande électronique pour les machines-outils est une activité hautement concentrée. FANUC affirme compter pour 75% du marché japonais et 50% du marché mondial; puis viennent SIEMENS, qui produit entre 15 000 et 20 000 unités de commande, PHILIPS, BOSCH et NUM ^{42/} qui sont ex-aequo avec 4 000 unités par an ^{43/}. Cependant, des fournisseurs d'unités de commande à bas prix ont fait leur apparition, par exemple AURKI en Espagne, et certains producteurs de machines-outils s'engagent dans la production d'unités de commande électronique.

3.4.4. Sous-traitance et concentration géographique

Dans les pays industrialisés, les entreprises de machines-outils achètent certains composants et recourent très largement à la sous-traitance : le pourcentage en valeur des matériaux achetés et des éléments sous-traités va de 40% (en Europe) à 60% (au Japon). La tendance est à recourir davantage à la sous-traitance par le recours plus fréquent aux spécialistes de divers composants : les éléments tels que les vis à bille, les porte-outils et les bâtis de machines sont produits par des sous-traitants ^{44/}.

^{42/} Filiale de TELEMECANIQUE (France).

^{43/} Machinery and Production, juillet 1988.

^{44/} Le recours à la sous-traitance est l'un des facteurs qui peuvent expliquer la concentration géographique de l'industrie. Elle est particulièrement marquée en Espagne, où l'industrie de la machine-outil est concentrée en Catalogne et à Madrid et en Italie, où 71% de l'industrie est implantée en Lombardie et au Piémont (voir UCIMU : The Machine-tool industry.

L'industrie japonaise est particulièrement caractérisée par le recours à la sous-traitance et aux achats de composants. Cette situation explique en partie leur plus grande production par employé (tableau 6). Comme dans l'industrie automobile, la sous-traitance est organisée à deux niveaux ^{45/} (tableau 8).

Le constructeur final est généralement responsable du montage, du câblage et du "réglage" des machines-outils. Ces constructeurs produisent les pièces les plus importantes, comme les axes et dans certains cas, des pièces lourdes comme les pièces fondues. Ils achètent des roulements à bille, des moteurs électriques, des câbles et des dispositifs de commande électronique et sous-traitent la plupart des processus d'usinage. Chacun des 43 constructeurs de machines-outils entretient des relations de sous-traitance avec 24 entreprises de "premier niveau".

Le premier niveau de sous-traitance se composait de 1013 entreprises en 1985, et leurs activités de construction mécanique couvraient tous les besoins de production du secteur : traitement de surface, usinage, montage de sous-ensembles. Ils sont responsables de la production d'importants composants tels que le guide et la surface porteuse, dont la fabrication exige non seulement un niveau élevé de technologie, mais également une étroite relation technique avec les constructeurs de machines-outils auxquels les sous-traitants apparaissent liés du point de vue organisationnel. La coopération existe également entre les sous-traitants.

Ce premier niveau entretient des relations de sous-traitance avec 10 861 petites entreprises, dont la moitié sont engagées dans des activités de construction de machines.

Au Japon, les sous-traitants travaillent en liaison étroite avec un nombre relativement moins grand de constructeurs finaux que dans d'autres pays. Une des conséquences de cette situation est que l'innovation technique réalisée dans les grandes entreprises s'étend rapidement aux entreprises petites et moyennes. La compétence technologique de ces petites entreprises, qui était jadis un facteur de freinage du progrès technologique de l'industrie japonaise, s'est développée suffisamment pour que ces entreprises puissent faire face à l'avènement des machines-outils numériques. Les constructeurs finaux ont été forcés de sous-traiter un grand nombre de composants, et parfois même la construction complète de machines-outils classiques, qui sont commercialisées sous le nom du constructeur final.

^{45/} Cette situation est décrite dans l'ouvrage de Hiroatsu Nohara: Les acteurs de la dynamique industrielle au Japon LEST/CNRS 1987 et dans une communication présentée au colloque High Tech and Society in Japan and the Federal Republic of Germany, Berlin, août 1987.

Tableau 8 : Organisation de la sous-traitance au sein de l'industrie japonaise de la machine-outil

LES ENTREPRISES DU DOMAINE DE LA MACHINE- OUTIL (43 entreprises)	<---- ACHETENT <----	des roulements à bille des moteurs électriques des boulons des câbles des dispositifs de commande numérique
--	----------------------	--

Premier niveau (1013 entreprises)

Traitement thermique Fonderie 216 entreprises (1915 sous-traitants)	Emboutissage Tôlerie 62 entreprises (1915 sous-traitants)	Usinage Sous-montage 546 entreprises (5864 sous-traitants)
Traitement de surface 41 entreprises (225 sous-traitants)	Engrenages 67 entreprises (1212 sous-traitants)	Divers 62 entreprises (615 sous-traitants)

Second niveau (10 861 entreprises)

Tôlerie 749 entreprises	Traitement thermique 619 entreprises	Fonderie 858 entreprises
Pressage 345 entreprises	Usinage 5314 entreprises	Traitement de surface 667 entreprises
Systèmes d'engrenage 448 entreprises	Montage 358 entreprises	Divers 1610 entreprises

Source : Technology and division of work within small scale enterprises :
Association des petites et moyennes entreprises, Tokyo, 1985.

3.5. Caractéristiques de la production

3.5.1. Organisation de la production

La production de machines-outils se caractérise très généralement par des séries relativement modestes de produits. Le processus de production comprend le découpage du métal et le montage, et à ces processus fondamentaux peuvent s'ajouter l'inspection, le contrôle de la qualité, la planification de la production et le travail de conception.

Tous les problèmes qui affectent les ateliers de construction à la demande sont intensifiés dans la production de machines-outils, en raison de la complexité qui caractérise le processus de production en termes d'usinage et d'organisation. Le nombre de composants à produire se chiffre par milliers. La tâche consistant à déterminer la grandeur de la série de production de ces composants et la série de machines permettant de les produire est extrêmement complexe. Une fois cette décision prise, la tâche organisationnelle consistant à réguler la production pour assurer un flux régulier de matériaux dans l'entreprise et empêcher les travaux en cours d'accaparer les capacités est aussi extrêmement ardue.

Dans une usine classique de machines-outils, le contenu manufacturé est relativement important, puisque de nombreuses pièces sont faites dans l'usine, y compris parfois des pièces moulées. L'usinage a subi des modifications majeures avec l'introduction de centres d'usinage qui combinent le fraisage, le perçage et l'alésage. Dans le cas d'une fabrique de machines-outils à CNC, le contenu manufacturé est moins important, et un grand nombre de composants et de parties peuvent être confiés à la sous-traitance, l'usine ne procédant elle-même qu'à l'usinage final.

3.5.2. Intensité de technologie

L'industrie de la machine-outil n'est pas une industrie à forte intensité de technologie; les dépenses de recherche-développement ne représentent qu'une proportion relativement faible du chiffre d'affaires (en moyenne 4 à 5%) contre 5 à 10% pour d'autres industries telles que l'électronique ou l'industrie pharmaceutique. Les fabriques de machines-outils ont des bureaux d'étude dont la principale tâche est de résoudre les problèmes spécifiques de la clientèle tels qu'ils se posent de jour en jour. Les liens avec les universités sont traditionnellement limités, à l'exception de l'Allemagne (ex-RFA), où un réseau complexe de communications entre l'industrie, les associations de professionnels, les syndicats et les pouvoirs publics contribue à diffuser les idées et à établir un consensus dans des domaines tels que les priorités de recherche en coopération 46/. Les liens entre les fabriques de machines-outils et les universités sont établis par le truchement de centres techniques de la machine-outil 47/.

46/ Une vingtaine d'instituts universitaires, ainsi que beaucoup des instituts Fraunhofer effectuent des travaux relatifs aux machines-outils. L'Institut d'Aix-la-Chapelle est largement considéré comme le meilleur laboratoire d'étude des machines-outils au monde, et d'autres instituts situés à Berlin, Stuttgart et Hanovre jouissent d'une très haute réputation.

47/ Comme dans le cas du CETIM en France.

L'industrie de la machine-outil emploie des professionnels hautement qualifiés dans le domaine de la conception et de la production. Depuis le XIXe siècle, les fabriques de machines à forte participation de main-d'oeuvre ont constitué un bastion de main-d'oeuvre qualifiée et le foyer de nombreuses contestations ouvrières. Le principal instrument de pouvoir des fabricants était leur contrôle sur les machines. La construction de machines n'est pas un travail artisanal, mais un métier fondé sur l'emploi d'un matériel mécanique, et traditionnellement une part importante de la qualification des opérateurs est leur connaissance tacite des performances des précédentes générations de machines, de leurs conditions typiques d'utilisation et des besoins de production des utilisateurs.

Avec l'avènement des machines-outils à CNC et leur utilisation pour la production des principaux composants de machines-outils, beaucoup d'opérations traditionnellement confiées à un personnel spécialisé ont été éliminées, même dans les domaines de l'inspection et des essais. Par exemple, on tend aujourd'hui à confier la conduite des machines-outils à des personnes qualifiées en mathématiques et en programmation, tandis que le changement des outils, le chargement et le déchargement des matériaux sont confiés à des opérateurs semi-qualifiés 48/.

L'industrie de la machine-outil tend à devenir une industrie à plus forte participation de capital, car seules les installations les plus sophistiquées de production et l'utilisation optimisée des capacités de traitement de données peuvent assurer une amélioration de la productivité.

3.6. Déterminants de l'avantage national dans l'industrie de la machine-outil

Pour résumer cette introduction à l'étude de la machine-outil, il est utile d'évaluer les raisons pour lesquelles un pays accède au niveau international dans cette industrie. La compétitivité dans une industrie à forte participation de technologie n'est pas le fait d'un seul déterminant: les avantages imputables à plusieurs déterminants se combinent pour créer des conditions qui se renforcent d'elles-mêmes. M. Porter 49/ distingue quatre principaux déterminants de l'environnement dans lequel s'effectue la concurrence entre les entreprises locales; on peut les illustrer par une figure en forme de losange adaptée à l'industrie de la machine-outil (figure 4). Les quatre déterminants de la compétitivité nationale sont les suivants:

i) Les conditions liées aux facteurs de production : Dans le cas de l'industrie de la machine-outil, il semble que la main-d'oeuvre hautement qualifiée (en mécanique, et de plus en plus en électronique) soit l'un des plus importants. Dans les pays industrialisés, les centres technologiques et les associations professionnelles sont d'importantes sources de connaissances. Avec le progrès de la commande numérique, l'infrastructure de télécommunications jouera un plus grand rôle que dans le passé.

48/ Cette partie sera développée au chapitre 3, 1.2.3.

49/ M. Porter: The competitive advantage of nations, New York, Free Press 1990.

ii) Les conditions de la demande : Plusieurs caractéristiques rendent les conditions de la demande extrêmement importantes parmi les déterminants de cette structure en losange :

- Le marché est hautement différencié; les petits pays peuvent être concurrentiels dans des segments qui concernent une part importante de la demande locale, mais une part modeste de la demande dans d'autres régions. Un autre facteur important est le taux de croissance de la demande locale. Plus il est élevé, plus rapidement les entreprises adoptent les nouvelles technologies.
- La demande nationale ne doit pas être considérée uniquement en fonction du volume des ventes : l'existence d'un important marché national peut donner au fabricant local la possibilité de tirer parti des économies d'échelle. Toutefois, les aspects qualitatifs de la demande nationale apparaissent beaucoup plus importants pour l'industrie que cet aspect quantitatif : à tout prendre, la compétitivité de l'industrie s'explique par son aptitude à répondre à la demande sophistiquée des industries mécaniques locales, et en particulier de l'industrie automobile, et par sa capacité de satisfaire à sa propre demande d'équipements. La nature des acheteurs nationaux apparaît comme l'un des principaux déterminants du succès de l'industrie de la machine-outil, qui aura moins de difficultés à s'adapter à la demande des marchés étrangers.

iii) Les industries apparentées et associées : L'industrie de la machine-outil a besoin d'industries de base, celles de la forge, de la fonderie, de la fabrication d'engrenages et celle des traitements de surface, et l'existence d'une relation étroite entre les fournisseurs et les constructeurs de machines-outils favorise l'évolution technologique de l'industrie.

L'expérience des pays en développement montre que la mise sur pied de vastes entreprises dans lesquelles sont intégrées les activités des industries de base a entraîné de nombreuses difficultés en ce qui concerne l'utilisation des capacités. Une meilleure approche serait de promouvoir les entreprises petites et moyennes de façon qu'elles puissent apporter leur appui à l'industrie de la machine-outil.

iv) Stratégie, structure et rivalité des entreprises : Comme on l'a vu plus haut, l'industrie de la machine-outil est fréquemment constituée d'entreprises moyennes, et la concentration géographique est souvent de règle, de sorte que la rivalité des entreprises nationales joue un rôle important. Les plus grandes entreprises concentrent leur activité sur les machines qui permettent des grandes séries de production, tandis que les petites se consacrent à la production dans ce qu'on pourrait appeler des "niches technologiques". Dans les pays en développement, la création des monopoles et l'établissement de tarifs douaniers à l'importation et d'obstacles non tarifaires a souvent affecté d'une façon défavorable la compétitivité de l'industrie et sa capacité à satisfaire aux besoins des industries mécaniques.

Il semble que le rôle du gouvernement ne constitue pas un déterminant de la compétitivité nationale, mais sa politique peut influencer chacun des déterminants du losange :

- En mettant à disposition des moyens de formation, qui contribuent à améliorer les facteurs de production.
- En influençant la demande locale par sa politique d'achat et en établissant des normes et des règlements. Il joue aussi un rôle important en signalant les nouvelles technologies et en assurant la publicité des nouveaux marchés.
- En promouvant les industries d'appui.
- En influençant la stratégie des entreprises par sa politique fiscale et commerciale.

CHAPITRE II :

LA PRODUCTION ET LE COMMERCE DE MACHINES-OUTILS DANS LE MONDE

1. Production

1.1. Production mondiale

Depuis une vingtaine d'années, la production mondiale de machines-outils 1/ est passée de 8 milliards de dollars (1968) à 19 milliards (1978) et à 42 milliards (1989). Cette croissance n'a pas été uniforme (figure 5); des pointes ont été enregistrées en 1975 et en 1980; le déclin marqué de 1981 à 1984 a été suivi d'une forte hausse depuis 1986. Cette alternance a été plus marquée lorsque la demande fluctuait d'une façon synchrone dans les différents pays, comme dans les années 70; au cours de cette décennie, les cycles commerciaux des pays industrialisés étaient étroitement coordonnés, tandis que les années 1980 ont été marquées par une absence de synchronisation qui s'est reflétée par d'énormes déséquilibres internes 2/. On a ainsi constaté dans l'industrie de la machine-outil que le commerce international peut jouer un rôle de tampon en ce qui concerne la production nationale.

Les fluctuations incontrôlées du dollar et le flottement des monnaies mondiales compliquent l'évaluation de la production mondiale en termes réels, et aucune tentative n'a été faite pour calculer un indice mondial 3/. Un indicateur approximatif a été établi sur la base de la production agrégée en prix constants de 1981 pour les quatre plus grands producteurs des économies de marché (qui comptent pour 65% de la production mondiale compte non tenu des pays à économie centralisée). L'évolution de cet agrégat au cours des 20 dernières années (figure 5) peut être considérée comme une approximation 4/ de l'évolution de la production mondiale en volume, qui apparaît avoir diminué lentement au cours des ans : elle reflète la lente croissance des industries mécaniques dans les années 70 et 80 (figure 6). L'industrie de la machine-outil ne dessert plus un marché en expansion; par ailleurs, comme on le verra plus loin, le lien entre l'investissement dans l'industrie manufacturière et les achats de machines-outils n'est plus aussi étroit qu'auparavant.

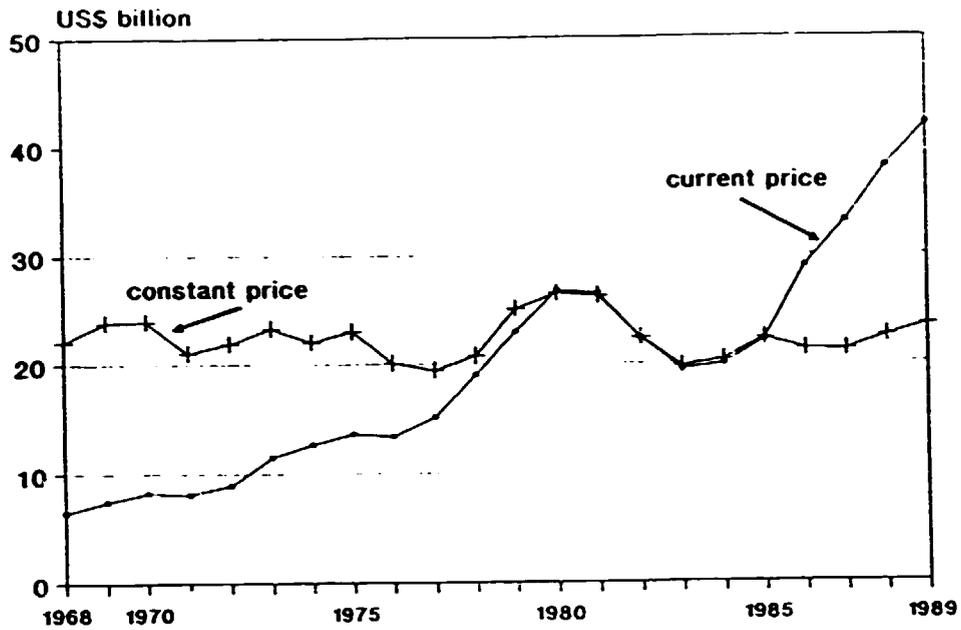
1/ Traditionnellement, la production mondiale de machines-outils représente la production agrégée des 35 pays mentionnés dans l'étude de l'American Machinist. Ce total est censé représenter 95% de la production mondiale. Les données relatives à la production et aux échanges concernant les machines-outils complètes, à l'exclusion des pièces et éléments de machines pour la plupart des pays.

2/ Economic Focus: "Toppling the business cycle", The Economist, 9 juin 1990.

3/ A partir de sa base de données industrielles pour les pays de l'OCDE, le Centre économique et de prospective industrielle et internationale (CEPII) a établi un indice de production en volume. Selon cette mesure, la demande mondiale de machines-outils a augmenté de 8,3% annuellement dans les années 60, puis diminué progressivement dans les années 70 et 80 (-1%).

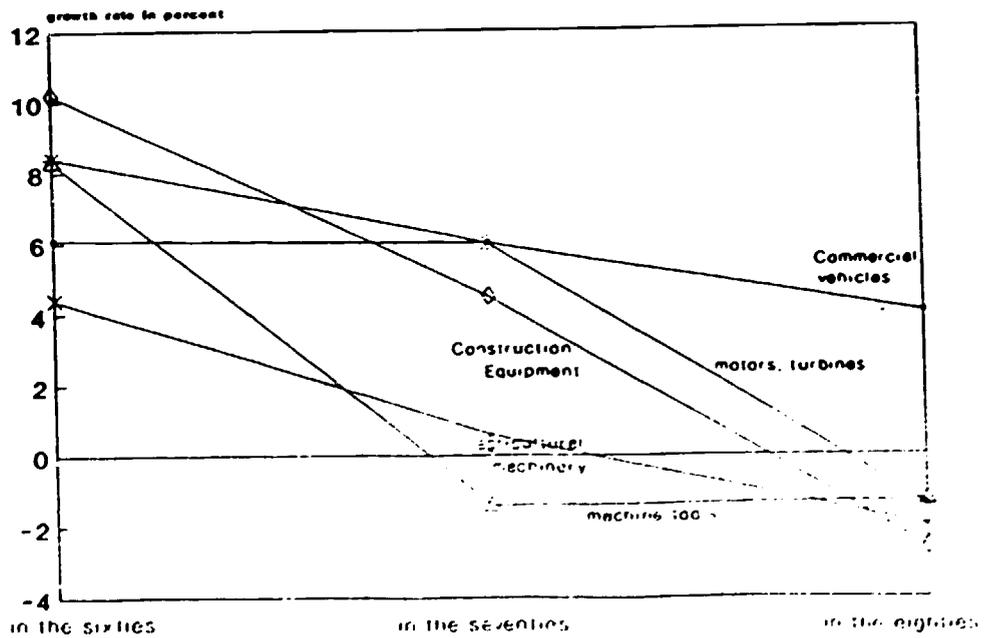
4/ Compte tenu également du fait que l'emploi de coefficient déflateur est une pratique très douteuse lorsqu'il s'agit de produits à base d'électronique.

Figure 5 : Production mondiale de machines-outils



Source: American Machinist and estimates

Figure 6 : Evolution de la demande mondiale de certains produits de l'industrie mécanique



Adapted from Galafay, La fin des avantages absolus (Economica, Paris 1989)

Tableau 9 : Production régionale de machines-outils
(millions de dollars)

	1980	%	1985	%	1989	%
Amérique du Nord	5043	17,8	2878	13,1	3659	8,7
Europe occidentale	10869	40,3	7228	32,9	16276	38,7
Europe orientale et URSS	5475	20,3	4811	21,9	8201	19,5
Amérique latine	378	1,4	286	1,3	505	1,2
Asie	4828	17,9	6327	28,8	12743	30,3
Divers	378	1,4	439	2,0	673	1,6
Monde	26970	100,0	21970	100,0	42057	100,0

Source : American Machinist.

1.2. Concentration de la production dans les pays industrialisés

A la fin des années 70, l'industrie des machines-outils a été parfois considérée comme une industrie parvenue à maturité qui le moment venu "migrait" vers des pays intermédiaires ^{5/}. Tel n'a pas été le cas. Sur une base régionale (tableau 9), l'Europe occidentale est demeurée le principal producteur (38,7% en 1989) tandis que la part de l'Europe orientale y compris l'URSS, est demeurée constante. L'évolution la plus notable est le déclin de la part de production des Etats-Unis, de 18,7% en 1980 à 8,7% en 1989, accompagné d'une progression de la part de l'Asie, de 17,9% en 1980 à 30,3 en 1989, évolution qui peut être attribuée à la croissance de la production japonaise et des pays en développement d'Asie orientale. La part de l'Amérique latine a légèrement régressé.

1.2.1. Principaux pays producteurs

La production de machines-outils est largement concentrée dans un petit nombre de pays industrialisés. Le Japon, l'Allemagne (ex-RFA), l'URSS, l'Italie et les Etats-Unis d'Amérique comptaient pour deux tiers de la production mondiale en 1988.

Ce rapport est un peu moins élevé que celui mesuré dans les industries apparentées ^{6/} telles que l'électronique et la construction automobile (tableau 10) :

^{5/} Selon une étude de la Commission économique européenne (mentionnée dans l'UCIMU).

^{6/} Soit du point de vue des relations entre le producteur et l'utilisateur, comme dans le cas de l'industrie automobile, qui est habituellement le plus important débouché des machines-outils, soit du point de vue technologique (commande électronique).

- Dans l'industrie électronique, les deux principaux pays producteurs, les Etats-Unis d'Amérique et le Japon, comptaient pour 63% de la production mondiale en 1988, tandis que 79% de la production mondiale étaient concentrés dans les cinq principaux pays producteurs;
- Dans l'industrie automobile, 59% de la production mondiale est concentrée au Japon et aux Etats-Unis d'Amérique et 76% dans les cinq principaux pays producteurs.

Tableau 10 : Concentration de la production en 1988

Machines-outils		Véhicules à moteur		Electronique	
Japon	23%	Japon	26%	Etats-Unis	34%
Allemagne(RFA)	18%	Etats-Unis	23%	Japon	29%
URSS	12%	RFA	13%	RFA	7%
Italie	7%	France	9%	France	5%
Etats-Unis	6%	Italie	5%	Royaume-Uni	4%
Les cinq principaux pays producteurs	66%	Les cinq principaux pays producteurs	76%	Les cinq principaux pays producteurs	79%

Sources : American Machinist; DRI world automotive forecast; Statistiques d'Elsevier Macintosh.

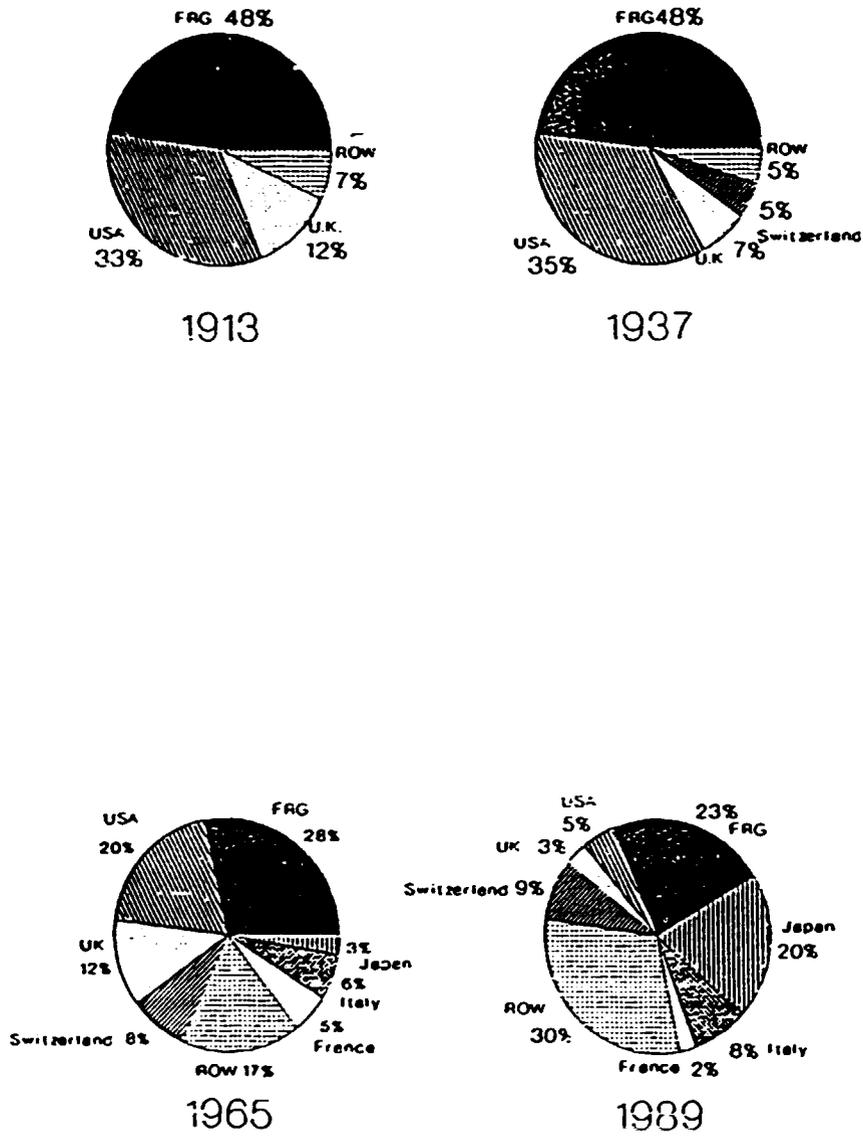
Considérée dans une perspective historique à long terme, la concentration de la production de machines-outils n'a pas augmenté, et au contraire (figure 7) un nombre de plus en plus grand de pays se sont engagés avec succès dans cette industrie. Dans la première partie du XXe siècle, trois pays (l'Allemagne, les Etats-Unis d'Amérique et le Royaume-Uni) assuraient plus de 80% des exportations mondiales de machines-outils; ces pays ont été rejoints par la Suisse dans les années 30. Après la guerre, les industries britanniques et américaines de la machine-outil ont acquis la suprématie mondiale, et jusqu'en 1960 il était rare qu'une grande fabrique de machines ne possède aucune machine-outil britanniques ou américaine. En 1989, les trois principaux pays exportateurs étaient l'Allemagne (ex-RFA), le Japon et la Suisse.

1.2.2. Evolution parmi les principaux pays producteurs

Le tableau 11 indique la production de machines-outils des 35 principaux pays producteurs de 1977 à 1989. Le Japon est devenu le principal pays producteur en 1982, date à laquelle il a supplanté l'Allemagne (ex-RFA), tandis que l'URSS demeurait le troisième producteur mondial, suivie par les Etats-Unis d'Amérique et l'Italie.

L'évolution de la compétitivité dans ce domaine est globalement liée aux percées technologiques réalisées dans chacun de ces différents pays. Les institutions nationales qui créent les ressources et les orientent vers les problèmes et solutions spécifiques constituent des "systèmes d'innovation" :

Figure 7 : Concentration des exploitations mondiales de machines-outils



ROW: Rest of the world

Tableau 11 : Production de machines-outils (1977-1989).
(millions de dollars)

	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	%
Japon	1602	2350	2982	3826	4798	3796	3541	4473	5316	6872	6419	8722	9817	23,3
Allemagne (RFA)	2635	3396	4007	4707	3953	3505	3193	2803	3168	5185	6403	6572	6859	16,3
URSS	2202	2652	2902	3065	2932	2952	3077	2776	3035	3672	3976	4263	5000	11,9
Etats-Unis	2441	3004	4059	4812	5111	3748	2106	2423	2717	2748	2235	2519	3270	7,8
Italie	878	1060	1354	1728	1513	1138	1037	996	1115	1623	2585	2639	3067	7,3
Suisse	580	768	930	994	846	816	766	759	955	1424	1652	1865	1797	4,3
Royaume-Uni	588	821	1001	1395	933	781	573	675	783	916	1058	1501	1597	3,8
Ex-RDA	641	699	806	891	828	821	829	789	730	1001	1312	1457	1445	3,4
France	591	723	877	954	809	621	561	465	499	657	766	876	1081	2,6
Taiwan (Chine)	58	126	198	245	294	186	205	244	278	367	578	782	1016	2,4
Corée (Rép. pop.)	355	405	420	420	440	470	475	482	341	364	632	750	832	2,0
Espagne	191	232	316	353	319	259	193	211	253	396	575	702	795	1,9
Corée (Rép. de)	57	95	163	130	178	158	119	143	175	333	531	632	760	1,8
Roumanie	120	294	459	590	625	615	439	353	324	306	618	663	798	1,7
Yougoslavie	141	173	189	232	277	284	231	226	239	390	515	550	602	1,4
Bésil	283	255	387	315	305	172	98	105	265	370	575	536	458	1,1
Tchécoslovaquie	309	363	358	331	358	308	375	325	338	382	405	450	450	1,1
Suède	146	166	221	232	205	180	157	158	215	214	258	359	403	1,0
Canada	71	85	159	194	269	264	290	199	199	209	244	344	383	0,9
Pologne	583	679	420	405	310	151	105	121	148	165	323	320	320	0,8
Autriche	96	112	101	166	108	160	128	121	120	156	155	247	302	0,7
Inde	89	112	127	165	209	187	217	264	245	270	278	290	262	0,6
Belgique	106	114	129	137	103	101	85	77	89	150	179	207	194	0,5
Bulgarie	30	40	41	43	201	221	182	192	132	143	140	195	175	0,4
Hongrie	105	109	112	121	128	128	135	148	175	180	210	134	124	0,3
Danemark	43	45	50	52	42	50	46	48	58	72	77	78	73	0,2
Pays-Bas	69	66	83	65	60	48	120	120	43	65	47	78	72	0,2
Singapour	6	12	26	37	43	40	15	21	34	34	35	42	48	0,1
Finlande							15	24	20	51	35	42	41	0,1
Argentine	60	60	62	50	35	35	28	23	0		35	48	38	0,1
Mexique	6	14	15	22	24	19	13	25	18	17	21	21	21	0,0
Portugal	10	10	14	16	16	16	13	15	11	13	19	19	17	0,0
Australie	18	19	18	18	69	44	66	66	36	40	45	12	16	0,0
Hong kong		0	0	0	12	8	5	4	1	1	1	12	12	0,0
TOTAL MONDIAL	15110	19049	22986	26711	26460	22367	19526	19976	22199	28917	33079	38073	42064	100,0

Source : Compilation de données de l'American Machinist (différents numéros).

"Lorsque la Grande-Bretagne a effectué une percée technologique majeure technologique majeure au cours de la première révolution industrielle, cette évolution n'était pas le seul fait d'un accroissement des activités inventives et scientifiques ... mais celui de l'apparition de nouveaux modes d'organisation de la production, de l'investissement et de la commercialisation et de nouveaux moyens d'associer l'invention au dynamisme industriel. Lorsque l'Allemagne et les Etats-Unis ont rattrapé la Grande-Bretagne au XIXe et XXe siècles, leur succès était également lié à des changements institutionnels majeurs (...); de même, lorsque le Japon effectue une nouvelle percée technologique, cette percée est liée non pas simplement à l'ampleur des travaux de R-D, mais à d'autres modifications sociales et institutionnelles" 1/.

En fait, l'évolution récente parmi les principaux pays producteurs (figure 8) s'explique d'une façon générale par leurs attitudes différentes quant à la technologie de la commande numérique. Cette innovation, apparue aux Etats-Unis dans les années 50, n'a pas été largement adoptée par les industries mécaniques américaines, alors que le Japon faisait oeuvre de pionnier dans son application. La diffusion rapide de la commande numérique à partir du milieu des années 70 explique le succès de l'industrie japonaise de la machine-outil dans les années 80. La figure 9 illustre la position dominante des Etats-Unis dans la production de machines-outils à commande numérique (MOCN) à la fin des années 1960, et l'évolution survenue au cours des années 70 au bénéfice du Japon.

De 1978 à 1982, les Etats-Unis d'Amérique sont demeurés le principal pays producteur. En raison 8/ de la crise pétrolière, le gouvernement a mis sur pied un programme d'économie d'énergies prévoyant notamment la construction de véhicules ayant un meilleur rendement énergétique; cette situation a stimulé la demande de l'industrie automobile, qui est le principal client de l'industrie de la machine-outil. Depuis 1981, la part des Etats-Unis d'Amérique dans la production mondiale a décliné en comparaison d'autres pays industrialisés, tandis que celle du Japon progressait jusqu'à faire de ce pays le principal pays producteur.

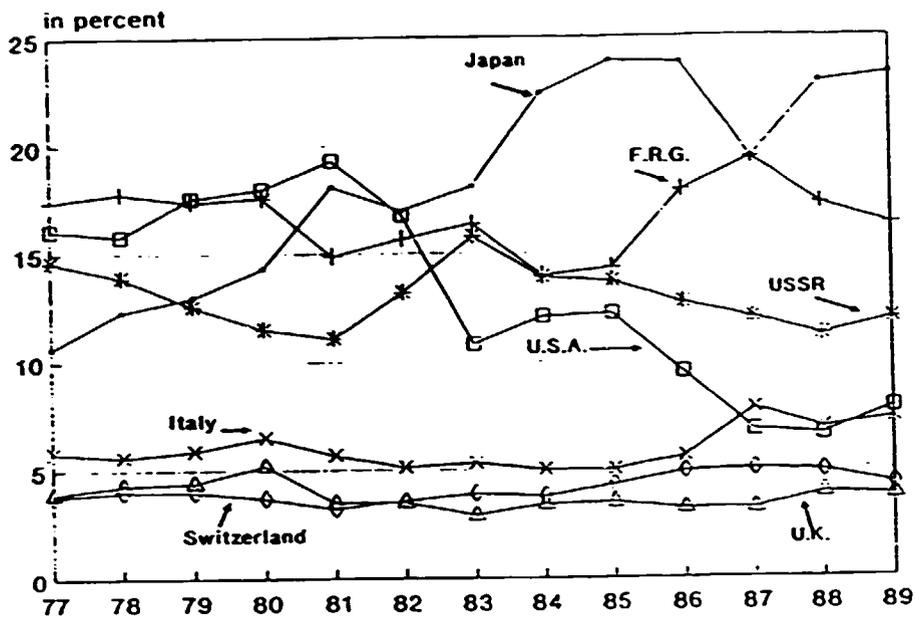
On peut difficilement surestimer le déclin de l'industrie de la machine-outil des Etats-Unis 9/. Dans le centre jadis très important de production de machines-outils de Springfield (Massachusetts), les principales entreprises sont pour la plupart défuntes ou réduites au rôle d'agences de fabriques étrangères de machines-outils et occasionnellement de producteurs d'outils hautement spécialisés pour des entreprises travaillant pour les forces armées, pour lesquelles les coûts et la rapidité de la livraison sont secondaires.

1/ C. Freeman: Technology policy and economic performance: lessons from Japan, Londres, Pinter 1987 page 31.

8/ B. Real: The Machine-Tool industry in Technical Change and Economic Policy OCDE, Paris, 1980, page 13.

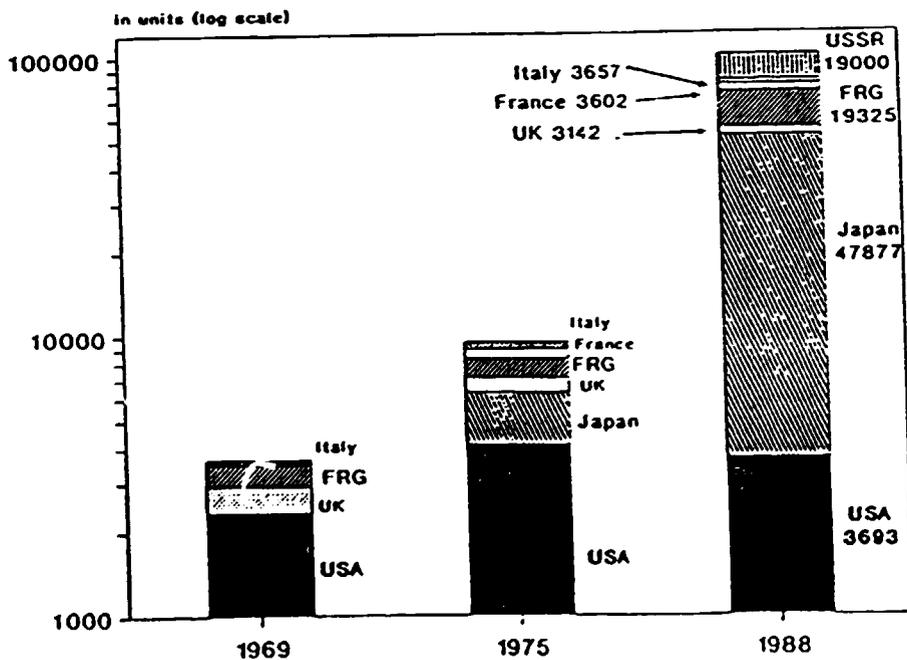
9/ M.K. Starr: Global competitiveness, getting the US back on track, The American Assembly, Columbia University, W.W. Norton & Co. 1988.

Figure 8 : Principaux pays producteurs.
Part de la production mondiale (1977-1989)



Source : American Machinist

Figure 9 : Production de machines-outils à commande numérique



Source : CECIMO, and national statistics

La prédominance est passée des Etats-Unis aux pays européens et au Japon, et cette situation a suscité de profondes préoccupations, en ce qui concerne non seulement l'industrie elle-même, mais aussi la compétitivité de l'industrie manufacturière américaine. La commission créée par le MIT pour identifier les principales causes de faiblesse des réalisations industrielles a observé 10/ une certaine combinaison de facteurs 11/, dont deux sont spécifiques de l'industrie de la machine-outil :

i) Désintérêt à l'égard des exportations, en raison de leur concentration géographique à proximité des marchés utilisateurs, de petites entreprises concevaient leur activité sur un plan régional, hésitaient à s'engager dans une activité d'exportation et ne s'intéressaient pas assez à l'évolution dans d'autres pays.

ii) Exploitation insuffisante de l'innovation dans le domaine de la commande numérique.

Le principe de la commande numérique des machines dérive probablement de celui de la commande électronique des mitrailleuses mise au point aux Etats-Unis en vue de la défense aérienne durant la seconde guerre mondiale 12/. Cette innovation a mené à la mise au point de la première machine-outil commandée par ordinateur 13/ qui a débuté dans le cadre d'un projet effectué sous les auspices du Gouvernement en 1949 14/ au laboratoire des servomécanismes du Massachusetts Institute of Technology (MIT) en vue de la production de pales d'hélicoptères. Les militaires, plus soucieux de performances et d'efficacité que d'économie, ont joué un rôle essentiel dans le développement de la commande numérique. Le système conçu par le MIT était beaucoup trop coûteux et complexe pour les grandes applications commerciales des industries mécaniques. L'aviation des Etats-Unis a transféré cette technologie aux industries des Etats-Unis essentiellement par des commandes de tels dispositifs assorties de licences de production. Cette technologie est ainsi devenue accessible à plusieurs grands fournisseurs des forces armées,

10/ M. Dertouzos, R.K. Lester, R.M. Solow et MIT Commission on Industrial Productivity: Made in America. Regaining the productive edge, 1989 The MIT Press Cambridge, Massachusetts.

11/ Parmi les facteurs les plus généraux, il faut citer i) un désintéressement de plus en plus marqué à l'égard du processus manufacturier en tant qu'avantage stratégique dans le cadre de l'industrie et que foyer d'activité intellectuelle au sein des universités, ii) les stratégies d'investissement à court terme encouragées par Wall Street : à la recherche des résultats à court terme, les gestionnaires industriels ont opté pour des technologies éprouvées plutôt que pour de nouvelles technologies plus aventureuses et iii) l'absence de politiques gouvernementales dans le domaine commercial.

12/ Nasbetti et Ray: The diffusion of new industrial process: an international study, Cambridge University Press, Londres, 1974.

13/ Des travaux de développement de machines-outils à commande numérique ont débuté au Royaume-Uni en 1950, puis ont suivi la France et la République fédérale d'Allemagne vers 1955.

14/ Pour plus de détails, voir chapitre 2.

mais sa dissémination dans l'industrie n'a pas été vraiment recherchée 15/ et n'est survenue que lentement en raison des limitations financières des entreprises et de leur conservatisme traditionnel. Cette technologie a également été diffusée à l'étranger, et des licences ont été offertes à plusieurs entreprises japonaises. Ainsi la diffusion des machines-outils à commande numérique au cours des années 60 ne s'est effectuée que lentement et les Etats-Unis d'Amérique ont perdu progressivement leur position dominante.

Plusieurs raisons ont été formulées pour expliquer cette évolution :

a) L'attitude des producteurs :

i) Les principaux fournisseurs de dispositifs de commande numérique, qui avaient dominé l'industrie avec des systèmes câblés n'ont adopté la technologie des circuits intégrés que lorsqu'ils y ont été obligés par la concurrence à la fin des années 70 16/.

ii) De nombreux producteurs de dispositifs de commande numérique sont apparus sur le marché sans que des normes d'interface aient été établies, ce qui a provoqué une incompatibilité des commandes génératrice d'énormes problèmes 17/.

iii) Les principales sociétés productrices de machines-outils ont surtout concentré leur attention sur les besoins de leurs principaux clients et n'ont pas suffisamment pris conscience de l'évolution des besoins des petites et moyennes entreprises de construction mécanique, désireuses d'acheter à moindre coût des équipements plus flexibles. Ce parti-pris a particulièrement pénalisé l'ensemble de l'industrie manufacturière des Etats-Unis 18/. La même situation conflictuelle entre les fournisseurs de dispositifs de commande numérique et les producteurs de machines-outils semble avoir caractérisé dans une certaine mesure la situation en Europe, et avoir ainsi ralenti la diffusion des dispositifs de commande numérique à circuit intégré dans ces pays, en comparaison du Japon 19/.

15/ Clive V. Prestowitz, Jr.: Trading Places, how we allowed Japan to take the lead, Basic Books, New York, 1988, pages 217-237.

16/ OCDE : Technology and International competitiveness: an interpretation of the relationship in the machine-tool industry, Direction de la science, de la technique et de l'industrie DSTI/SPR/84.2 Paris, 1984.

17/ M. L. Dertouzos, R.K. Lester, R.M. Solow: Made in America, regaining the productive edge, MIT Press, 1989, page 105.

18/ Selon une étude effectuée par l'Université Carnegie Mellon en 1983, 70% des 25 000 articles produits par l'une des principales entreprises de construction de machines-outils des Etats-Unis, étaient réalisés en un seul exemplaire. Par contre, 40% des machines produites par Yamazaki en 1984 étaient standardisées. IFRI RAMSES 1990, Système économique, Le monde et son évolution, La documentation française, page 146.

19/ OCDE, 1984.

b) Caractéristiques du marché :

iv) On reconnaît aujourd'hui que les conditions de la demande constituent d'importants facteurs définissant la compétitivité d'un pays^{20/} : la clientèle peut faire pression sur les entreprises pour qu'elles contribuent davantage à l'innovation. Tel est spécialement le cas des machines-outils, et la "pression des utilisateurs" joue un rôle important dans l'innovation. Malheureusement, cet effet ne joue que faiblement aux Etats-Unis où les constructeurs automobiles locaux (par opposition avec leurs confrères européens et japonais) demeuraient récemment encore fidèles aux technologies traditionnelles.

v) Les relations entre les utilisateurs et les producteurs ont été conflictuelles, les principaux utilisateurs suscitant une forte concurrence au niveau des prix parmi les fournisseurs de machines-outils, pratique qui décourageait l'innovation et l'investissement dans les sociétés productrices de pièces détachées et d'équipements.

Entre 1960 et 1970, la production japonaise de machines-outils a septuplé, mais une fraction seulement de la production de ce pays a été exportée. Alors qu'en 1965 la part du Japon sur le marché des exportations mondiales n'était que de 3,6%, en 1980, le Japon exportait la moitié de sa production et détenait 12% du marché mondial; en 1989, sa part atteignait 20%. La production japonaise a rattrapé celle des Etats-Unis au début des années 80, et sa position dominante a été renforcée depuis 1988, date à laquelle les commandes nationales se sont multipliées par suite de l'accroissement des investissements, retardés depuis la réévaluation du yen en 1985.

Le Japon mène aujourd'hui la course au développement et à l'utilisation de nouvelles technologies en matière de machines-outils. Les efforts en vue du développement de machines-outils à commande numérique ont débuté dans les années 50 avec la fraiseuse ^{21/} qui sert à la fabrication d'une grande variété d'outils et de pièces, et dont les déplacements ont trois degrés de liberté. Les caractéristiques des fraiseuses ont compliqué énormément la programmation de la commande numérique, et c'est avec le tour que l'application de la commande numérique s'est rapidement développée dans les années 70, contribuant ainsi à la prééminence de l'industrie japonaise. Comme l'indiquent plusieurs auteurs ^{22/}, certaines caractéristiques de la structure institutionnelle japonaise ont rendu le Japon particulièrement adapté au type de flexibilité requis pour tirer pleinement parti des nouvelles technologies de production. Parmi ces caractéristiques, il faut citer la nature des relations salariat-patronat, les liens entre les entreprises grandes et petites, les capacités de production manufacturière et la politique industrielle :

^{20/} M. Porter: The competitive advantage of Nations, Free Press, 1990.

^{21/} Susumu Wanatabe Market structure, industrial organization and technological development: the case of the Japanese electronics - based NC machine-tool industry, World Employment Programme Research Working Paper, février 1983.

^{22/} G. Dosi, Laura d'Andrea Tyson, J. Zysman: Trade, technologies and development: a framework for discussing Japan, dans Politics and productivity, the real story of why Japan works - A research project of the Berkeley roundtable on the international economy, 1988, p. 33.

i) L'organisation du travail. On a observé que durant la phase de mécanisation de l'industrie au XIXe siècle, la conception des équipements dépendait largement de l'organisation des travaux dans les ateliers, "l'homme devait être mécanisé pour que le machinisme puisse se développer" 23/. De semblables observations peuvent être faites si l'on veut comprendre l'avènement de l'automatisation flexible au Japon. Depuis la fin des années 50, afin de faire face à la nature modeste et fragmentaire de leur marché automobile, les producteurs japonais s'étaient efforcés d'adopter une attitude plus souple à l'égard de la production. Leurs efforts ont abouti à la réorganisation des ateliers : "Afin de réduire les temps morts, les machines étaient disposées de façon à permettre aux ouvriers de circuler parmi elles et étaient rendues plus légères et moins coûteuses. On a systématiquement sacrifié les économies d'échelle aux économies de flexibilité: ces réorganisations des ateliers ont rendu les entreprises et chaînes de production japonaises pleinement capables d'intégrer les nouvelles techniques de production faisant appel à l'ordinateur" 24/. Cette organisation a créé un environnement très favorable à la conception et à la diffusion des machines-outils à commande numérique.

ii) Organisation des entreprises. Si les microprocesseurs ont été inventés par les entreprises américaines, ce sont les entreprises japonaises qui ont ouvert la voie en ce qui concerne leurs applications. Les principales entreprises de construction automobile du Japon sont presque toutes pourvues d'une importante division de machines-outils dans laquelle entre 200 et 400 personnes travaillent exclusivement à la mise au point de nouveaux outils, qui ensuite sont rapidement incorporés au processus de production. Dès que la machine-outil se révèle appropriée au sein de l'usine, elle est mise sur le marché. Le marché japonais des machines-outils est fortement fragmentaire, divisé entre un grand nombre de producteurs qui mettent au point des équipements pour leurs propres besoins internes, et les écoulent ensuite sur le marché^{25/}. Certaines des entreprises constructrices de machines-outils avaient en outre l'avantage d'une expérience acquise dans la production de microprocesseurs 26/ : FANUC était au départ une division du principal producteur japonais d'ordinateurs FUJITSU, dont il s'est séparé en 1972. Bien que spécialisé dans la production d'équipement de commandes par ordinateur, Fujitsu produisait aussi des machines-outils. L'orientation unique de cette entreprise l'a servi efficacement dans la course au développement de machines-outils plus flexibles.

23/ Perrin: La production des technologies, Publisud, 1988. [citation retraduite de l'anglais]

24/ S. Cohen, J. Zysman: Manufacturing matters, the myth of post industrial economies, Basic Books, 1987, p. 146.

25/ C. Jonsson, L. D'Andrea Tyson, J. Zysman: Politics and productivity, the real story of why Japan works, a research project of the Berkeley Roundtable on the International economy (BRIE), Ballinger, 1989.

26/ Robert H. Ballance: International industry and business, structural change, industrial policy and industry strategies Allen & Unwin, Londres 1987, p. 297.

"Nous avons appliqué l'innovation technologique en matière de semi-conducteurs avant même l'industrie des ordinateurs" 27/. Par opposition à ce qui s'est produit aux Etats-Unis d'Amérique, la conception et la fabrication de dispositifs de commande étaient concentrées au sein de la FANUC avec l'encouragement actif du Ministère du commerce et de l'industrie. Cette situation a non seulement mené à des économies d'échelle, mais a évité les incompatibilités qui affligeaient les utilisateurs américains de machines-outils. Les constructeurs de machines-outils étaient dispensés de développer leurs propres dispositifs de commande, et la concentration de l'activité de la FANUC sur l'aspect électronique des produits électromécaniques réduisait la concurrence directe entre les constructeurs et elle-même. La FANUC a conquis 80 à 90% du marché japonais des dispositifs de commande durant les années 70 et 40 à 50% du marché mondial au début des années 80 28/.

iii) Capacités de fabrication. Le matériel d'automatisation flexible est un produit typique de la "mécatronique", nouveau concept qui combine la construction mécanique et l'électronique. Le développement de l'industrie mécatronique au Japon doit beaucoup au niveau technologique de l'industrie des machines de précision et à la fiabilité de plus en plus grande des dispositifs électroniques 29/.

- La production de masse de produits de consommation durables tels que les montres, les machines à coudre, les automobiles, etc. avait créé la base de construction mécanique d'une industrie de machines de précision au Japon : les roulements miniatures utilisés dans les magnétoscopes illustrent parfaitement le niveau élevé de précision de la construction mécanique nécessaire pour usiner des pièces avec une précision submicronique.
- Ce n'est qu'après l'introduction sur une grande échelle des circuits intégrés au milieu des années 70 que l'électronique a pu atteindre la fiabilité indispensable à des fins mécatroniques; en outre, l'évolution technologique des capteurs, actionneurs (dans les servo-moteurs convertissant les signaux électroniques en déplacements de dispositifs mécaniques) était également indispensable.

iv) Contraintes économiques. L'une des principales raisons de la vigueur de l'industrie japonaise des machines-outils à commande numérique sur le marché international est le fait que les systèmes de commande numérique étaient fabriqués dans le pays au moment même où l'amélioration de la productivité est devenue impérative dans l'industrie. L'accélération de la diffusion des machines-outils à commande numérique est en grande partie imputable à la réaction des

27/ Selon le Président de la Fanuc, cité par Jacobsonn dans Flexible Automation (1988).

28/ Dans Made in America, p. 106.

29/ Takemochi Ishii: Mechatronics and Japanese Society in Mechatronics, development in Japan and Europe, Edited by Mick McLean, Frances Pinter (publishers), Londres, 1983.

entreprises japonaises aux nouvelles contraintes qui ont surgi dans les années 70, à savoir l'impact de la crise économique de 1974/1975, durant laquelle la production de machines-outils a diminué de 25%, et la remontée du yen en 1977. Afin de faire face à ces contraintes, les petites et moyennes entreprises de construction mécanique ont adopté des techniques réduisant la durée et l'investissement nécessaires pour modifier les productions, et ont accru la sophistication et la qualité de leurs produits. Il en est résulté une avalanche de commandes de machines-outils à commande numérique, très efficaces pour réduire la main-d'oeuvre et promouvoir la rationalisation 30/. La situation dans les autres pays industrialisés était analogue à celle du Japon mais, selon le directeur exécutif de la Japan Machine Tool Business Association 31/, les fabricants de machines-outils ont fait peu d'efforts en vue du développement des outils à commande numérique dans ces autres pays, ce qui a accru la demande de machines-outils japonaises.

v) Politique industrielle. Un facteur essentiel de la stratégie industrielle du Japon est l'orientation des industries sur la base de leur potentiel perçu de croissance économique. La première loi concernant la promotion de certaines industries de construction de machines a été rédigée par le Ministère de l'industrie et du commerce et adoptée par la Diète en 1956; en 1957, le premier plan de base pour l'industrie a désigné comme objectifs la réduction des coûts, l'amélioration de la qualité et l'augmentation de la productivité par la centralisation de la production. Le but assigné à certains producteurs était de se concentrer sur un petit nombre de produits, accroissant ainsi l'échelle de la production. Le Ministère de l'industrie et du commerce était persuadé que la production à la demande de petites séries par de petits fabricants aboutirait toujours à un système sous-capitalisé et vulnérable aux perturbations cycliques. Les constructeurs japonais de machines-outils étaient encouragés par le Ministère à établir des produits modulaires standards appropriés à une large gamme d'usagers. L'emploi de modules simples minimisait les besoins en pièces détachées, maintenant ainsi les coûts à des niveaux raisonnables et réduisant les délais de livraison. Les constructeurs concentraient leur activité sur le besoin des petits utilisateurs et visaient des marchés étendus; ils se spécialisaient dans un type particulier de machines, et cette spécialisation aidait à réaliser des économies d'échelle. Le développement de l'industrie a pris par surprise les concurrents établis.

30/ L'adaptation des petites et moyennes entreprises à cette situation peut être illustrée par l'évolution de la part de ces entreprises dans la demande globale de machines-outils, qui est passée de moins de 40% avant 1975 à 60% entre 1977 et 1982. Dafsa : L'industrie mondiale de la machine-outil, Paris, 1983.

31/ Abe, dans Business Japan, cité par Piore et Sabel dans : "The second industrial divide".

Ces plans ont été appuyés par une panoplie de mesures de protection du marché couplée à diverses incitations financières. Jusqu'en 1983, le Ministère de l'industrie et du commerce recourait à des incitations fiscales spéciales pour encourager les fabricants japonais à acheter et à installer des robots et des machines-outils à commande numérique, et les entreprises bénéficiaient parfois de subventions occultes 32/. Bien que les principaux objectifs fussent d'accroître les niveaux de productivité et de remédier aux conditions de travail dangereuses, la conversion au matériel automatisé a eu pour effet de stimuler la demande de produits à haute technologie. Les entreprises qui achetaient des robots et des machines-outils à commande numérique recevaient un crédit fiscal de 13% sur le prix d'achat, en plus des abattements échelonnés pour amortissement 33/.

1.2.3. L'Europe maintient sa position

En Europe, l'Allemagne (ex-RFA) a pris une position dominante. Les entreprises allemandes ont concentré leur attention sur la haute précision et les capacités spéciales. Les "niches" du marché dominées par les constructeurs allemands concernent surtout l'équipement haut de gamme, et chaque entreprise produit une gamme limitée de machines-outils sophistiquées. La pression des usagers en vue de l'innovation est importante, et les principaux clients participent activement aux efforts de développement de nouvelles machines. Ils font preuve d'un grand esprit de collaboration et de confiance; leur tendance à mettre l'efficacité technique au premier plan de leurs critères d'achat a aidé à stimuler l'innovation.

L'Allemagne (ex-RFA) est bien établie comme chef de file de la production européenne de machines-outils, et deuxième producteur mondial, mais la croissance de l'industrie italienne des machines-outils a été également dynamique. Bien que le plan Marshall pour l'Europe et le Gouvernement italien aient aidé à financer le démarrage des constructeurs de machines-outils dans les années qui ont suivi la guerre, c'est dans les années 70 que la production italienne a réellement commencé à se répandre au-delà des frontières nationales. L'Italie est le cinquième pays producteur de machines-outils

32/ Par exemple de lucratives licences d'importation de sucre, et plus tard des subventions occultes tirées des recettes de l'Etat provenant des paris sur les courses de bicyclettes et de motos. Partant de la constatation que les courses de bicyclettes constituent un sport populaire au Japon, le MITI a adopté une loi permettant aux municipalités d'organiser des courses et des paris sur ces courses. Une partie de l'argent allait à la Japan Bicycle Rehabilitation Association, contrôlée par le MITI. Le budget de l'organisation, qui dépassait 2 milliards de dollars EU, s'est révélé une source substantielle de fonds extra-budgétaires pour divers projets du MITI, concernant notamment l'industrie de la machine-outil, qui a peut-être reçu un milliard de dollars. Voir Clide V. Prestowitz, Jr.: Trading places, how we allowed Japan to take the lead, Basic Books Inc., 1988, p. 222-223.

33/ D.I. Okimoto: Between MITI and the market. Japanese industrial policy for high technology, Stanford University Press, 1989, p. 101.

depuis 1978, et en 1988 sa production à cet égard a dépassé celle des Etats-Unis pour atteindre selon les estimations 7.5% du total mondial. Comme au Japon, l'accroissement de la demande d'équipements flexibles pour les petites et moyennes entreprises a entraîné un progrès rapide de la production de matériels à commande numérique, et l'Italie est le second producteur d'équipements de ce genre en Europe.

L'Europe demeure la principale source de technologie, comme on le voit au tableau 12, qui indique le nombre de demandes de brevets concernant des technologies essentielles relatives à l'industrie des machines-outils diffusées dans plus d'un seul pays par des pays de la Communauté européenne, des pays de l'AELE, le Japon et les Etats-Unis d'Amérique entre 1982 et 1988. Le tableau indique que, sur le plan de la commande et de la technologie robotique, le nombre de brevets européens a légèrement dépassé celui des brevets japonais.

Encadré 6 : La réunification de l'industrie allemande de la machine-outil

Un des résultats de la réunification de l'Allemagne est la disparition de la scène du deuxième producteur de machines-outils du CAEM, l'Allemagne de l'Est, qui était le cinquième exportateur mondial de machines-outils.

L'industrie de l'Allemagne de l'Est était l'héritière des traditions d'innovation qui avaient fait de la Saxe le berceau de l'industrie allemande de la machine-outil. Cette industrie a été restructurée à la fin des années 70 en trois combinats : Fritz Eckert, spécialisé dans les pièces prismatiques, 7te Oktober dans les pièces rotatives et Unformtechnik Herbert Warnke Erfurt dans les machines fonctionnant par déformation de métal. Ces groupes monopolisaient l'ensemble de la chaîne de production.

ALLEMAGNE (RFA)	ALLEMAGNE (RDA)
<u>Association commerciale</u>	<u>Entreprise commerciale d'Etat</u>
VDW	WMW
<u>Production brute:</u>	<u>Production brute:</u>
en 1989 (millions de \$)	en 1989 (millions de \$)
6800	1400
<u>Structure:</u>	<u>Structure:</u>
300 entreprises	3 combinats
<u>Effectif:</u>	<u>Effectif:</u>
94 000 employés	80 000 employés

Adaptation de l'article : The autobahn's new Eastern lane
American Machinist, mai 1990.

Tableau 12 : Nombre de demandes de brevets
1982-1988

	COMMUNAUTE	AELE	JAPON	ETATS-UNIS
Technologie				
Mécanique	9253	2169	4371	5082
Commande	3852	552	3093	2746
Robotique	656	152	582	393
Production au laser	339	57	193	241
Sources de laser	672	28	844	684
Electro-érosion	112	92	241	50
Céramique	1511	159	1631	1237
Revêtements	1453	179	1504	1537
Métallurgie des poudres	443	106	459	495

Source : Etude stratégique sur l'industrie des machines de la Communauté européenne. Bruxelles, 1990.

1.2.4. Le cas de l'URSS

Bien que classée comme troisième producteur mondial de machines-outils par la classification de la NMTBA (tableau 11), l'URSS est probablement le premier pays producteur et importateur mondial, étant donné que la NMTBA n'utilise que les chiffres du MINSTANKOPROM, à l'exclusion des autres ministères ^{34/} qui produisent des machines-outils (par exemple pour l'industrie automobile et la défense) ^{35/}. On dit que la machine-outil emploie 1,8 million de travailleurs dans plus de 9 000 instituts de recherche, bureaux d'étude et entreprises de production. Elle est responsable de plus d'un quart de la production industrielle du pays ^{36/}. Le deuxième plan quinquennal, publié en 1986, prévoyait un accroissement de 43% de la production au cours du quinquennat et un développement rapide des machines-outils à CNC. Selon Stankoimport, 50% environ des machines-outils installées en URSS sont à commande manuelle, et 16% des machines construites en Union soviétique sont dotées de la CNC.

1.2.5. Le deuxième niveau

Les modifications survenues parmi les principaux pays producteurs ne devraient pas inciter le lecteur à sous-estimer la croissance survenue dans les pays qui peuvent être classés comme appartenant au "second niveau", c'est-à-dire dont la valeur ajoutée de la production annuelle de machines-outils est comprise entre 100 millions et 1 milliard de dollars. Entre 1978 et 1988 (moyenne sur trois ans), la part de ces 17 pays dans la production mondiale a été de l'ordre de 20%.

^{34/} Il existe huit ministères responsables de l'industrie de la machine-outil.

^{35/} Machinery and Production engineering: "The cue for capitalism, an international report", 5 janvier 1990.

^{36/} Financial Times: An ill-equipped hub, 12 mars 1990.

Les principaux producteurs de ce groupe sont la France, Taiwan, Province de Chine, la République populaire de Chine, la Roumanie, la République de Corée, la Yougoslavie et le Brésil. Depuis une dizaine d'années, les pays les plus dynamiques (du point de vue de leur taux de croissance) sont la République de Corée, Taiwan (Province de Chine), l'Espagne et la Yougoslavie. Les économies en expansion rapide de ces pays ont donné une forte impulsion à leur industrie de la machine-outil qui, dans certains cas, est fortement axée sur l'exportation.

Parmi les autres pays, l'évolution la plus notable a été le déclin relatif de la Pologne et de la Tchécoslovaquie, qui possèdent d'importantes bases industrielles et de très anciennes traditions de construction de machines. La production a stagné (en termes relatifs) en Inde et en Suède. La Suède est un petit producteur de machines-outils comptant seulement 20 entreprises, mais un pionnier en matière de technologie. Elle a été le premier pays européen à construire des machines-outils à CNC.

1.3. La production de machines-outils dans les pays en développement 37/

1.3.1. Evaluation générale

La part des pays en développement dans la production mondiale de machines-outils est extrêmement limitée : inférieure à 7% en 1978 et à 9% en 1988, taux qui peuvent être comparés à la part des pays en développement dans la production mondiale d'équipements électroniques (de l'ordre de 14%). Quatre catégories de pays en développement ont été identifiées 38/ : i) les pays dont l'industrie de la machine-outil est modeste ou inexistante; ii) les pays ayant la capacité de fabriquer des machines-outils, mais non encore engagés sur cette voie; iii) les pays ayant la capacité de fabriquer des machines-outils de base et désirant se diversifier en abordant la fabrication de machines à CNC et iv) les pays pouvant être considérés comme fournisseurs établis de différents types de machines-outils, y compris des machines à CNC. Le premier groupe comprend une quinzaine de pays en développement 39/, et la production des pays en développement est fortement concentrée dans les dix pays 40/ appartenant aux groupes iii) et iv).

37/ Cette partie du document offre une vue générale de la production de machines-outils dans les pays en développement. Des analyses plus approfondies figurent dans les études nationales effectuées par plusieurs consultants de l'ONUDI en Bolivie et au Pérou, en Algérie et en Tunisie, en République de Corée, en Inde, en Chine et en Amérique latine.

38/ Réunion du Comité pour la coopération économique entre pays en développement, tenue à Buenos Aires en 1988.

39/ Dans plusieurs pays en développement, les producteurs de machines-outils ne figurent souvent pas dans les statistiques industrielles, en raison de leur échelle modeste ou de leur intégration dans diverses entreprises de travail des métaux.

40/ C'est-à-dire le Brésil, la Chine (République populaire de), la Chine (Taiwan), la Yougoslavie, la République de Corée, l'Argentine, l'Inde, le Mexique, Singapour et Hong-kong.

L'existence d'une base développée d'industries mécaniques est la première condition pour accéder à l'industrie de la machine-outil, et ce pour deux raisons. Sur le plan de la demande, les industries mécaniques sont tout bien considéré le principal débouché du secteur de la machine-outil (voir figure 17, dans 2.2.2) tandis que sur celui de l'offre l'existence d'industries d'appui (par exemple la fonderie, la forge, la production d'acier de qualité supérieure, de moteurs électriques, d'articles de boulonnerie à haute résistance à la tension, d'outils, de calibres et accessoires, de dispositifs de commande électronique) est indispensable pour la création d'une industrie de la machine-outil.

La viabilité d'une industrie de la machine-outil dans un pays en développement dépend non seulement du volume de la production des industries mécaniques, mais aussi de leur composition :

- Dans les pays en développement à faible revenu, les industries mécaniques sont embryonnaires et consistent surtout en producteurs de métaux (production de conteneurs en métaux, d'appareils ménagers, de meubles, etc. incluse dans la division 381 de la CITI). La production de ces articles ne demande guère d'outillage et peut habituellement être réalisée au moyen d'outils simples de déformation de métal. Dans ces pays, les machines-outils fonctionnant par enlèvement de métal sont surtout utilisées à des fins d'entretien et d'enseignement.
- Dans les pays où la production des industries mécaniques est plus importante, la part de la production de produits métalliques simples (CITI 381) représente de 30 à 50% du total de la valeur ajoutée des industries mécaniques. Les entreprises engagées dans la production et l'entretien de machines non électriques (CITI 382) et de matériels de transport (CITI 384) sont les principales utilisatrices de machines-outils. Les besoins croissants de ces deux secteurs offrent un débouché pour les machines-outils, qui peut parfois justifier la création d'une industrie nationale.

Le tableau 13 illustre la relation entre la production de machines-outils et le développement des industries mécaniques dans les pays en développement. Il indique la valeur ajoutée, ainsi que la structure des industries mécaniques des pays en développement qui communiquent de telles statistiques à l'ONUDI. Il apparaît que les industries mécaniques des pays qui se sont engagés d'une façon significative dans la production de machines-outils sont caractérisés par une valeur ajoutée dépassant le seuil du milliard de dollars (en 1987); une certaine production est enregistrée dans les pays où la valeur ajoutée des industries mécaniques est comprise entre 100 millions et 1 milliard de dollars.

Dans la plupart des pays producteurs de machines-outils, la part combinée des machines non électriques, des équipements de transport et des machines de précision représente plus de 40% de la valeur ajoutée des industries mécaniques.

Tableau 13 : Les industries mécaniques et la production de machines-outils (millions de dollars)

	1987	Industries mécaniques (classification de la CITI)					Machines-outils	1989
		381	382	383	384	385		
Chine (Rép. pop.)	22000						832	
Brésil	20932	17%	30%	25%	26%	2%	449	
Chine (Taiwan)	10989	16%	14%	51%	15%	3%	695	
Yougoslavie	8378	28%	23%	26%	21%	2%	671	
Corée (Rép. de)	8219	18%	20%	53%	39%	4%	597	
Argentine	5897	30%	17%	15%	37%	2%	38	
Inde	5882	9%	30%	29%	29%	3%	272	
Mexique	5630	23%	18%	20%	33%	5%	18	
Iran	3696	21%	22%	29%	44%	2%	p*	
Singapour	3062	11%	14%	56%	16%	3%	37	
Hong-kong	2557	20%	12%	46%	6%	16%	1,50	
Nigéria	1825	24%	5%	8%	63%	0%		
Venezuela	1735	32%	16%	20%	31%	2%		
Thaïlande	1681	13%	16%	19%	50%	2%		
Algérie	1561	34%	21%	15%	29%	1%	18	
Irak	1366	30%	26%	42%	2%	0%	p	
Egypte	1328	18%	21%	33%	27%	1%	p	
Malaisie	1192	12%	10%	57%	19%	2%	p	
Philippines	729	20%	9%	61%	9%	2%		
Rép. arabe syrienne	715	45%	19%	30%	5%	0%		
Colombie	705	33%	11%	27%	24%	5%		
Pérou	610	32%	21%	26%	19%	3%	1	
Indonésie	526	34%	12%	20%	33%	0%	1	
Chili	317	45%	18%	20%	16%	1%		
Pakistan	281	12%	22%	38%	27%	2%	5	
Zimbabwe	220	43%	18%	28%	11%	0%	p	
Equateur	161	43%	5%	34%	13%	5%		
Tunisie	160	58%	1%	23%	18%	1%	p	
Maroc	146	45%	10%	27%	16%	1%	p	
Uruguay	143	29%	10%	27%	34%	1%		
Nicaragua	134	81%	3%	8%	5%	2%		
Kenya	115	23%	13%	39%	25%	0%		
Malte	79	19%	8%	48%	9%	16%		
Zambie	65	40%	14%	23%	23%	0%		
Banladesh	61	20%	36%	18%	20%	7%	p	
Rép. Dominicaine	58	72%	10%	16%	0%	2%		
Chypre	55	53%	27%	13%	7%	0%		
Bolivie	47	57%	23%	13%	4%	2%		
Sénégal	46	52%	17%	4%	26%	0%		
Guatemala	39	41%	8%	36%	13%	3%		
Panama	39	59%	3%	18%	13%	8%		
El Salvador	37	30%	24%	41%	0%	5%		
Honduras	37	65%	3%	24%	8%	0%		
Sri Lanka	33	33%	24%	30%	12%	0%		
Cameroun	31	3%	68%	16%	13%	0%		
Rép. Unie de Tanzanie	31	42%	6%	10%	42%	0%	p	
Jamaïque	17	35%	6%	18%	41%	0%		
Ethiopie	11	91%	0%	9%	0%	0%		

*p: production enregistrée (non chiffrée)

Aucun chiffre n'est disponible pour Cuba et la République démocratique de Corée.

1.3.2. Amérique latine

La croissance économique des pays d'Amérique latine a stagné dans les années 80 en raison du fardeau de la dette. Le rendement du secteur industriel a fléchi (d'une croissance moyenne de 6,4% entre 1971 et 1980 à 1% entre 1981 et 1988) et fortement fluctué. Le ratio de l'investissement intérieur brut au produit intérieur brut est tombé d'une moyenne de 23% (1970-1979) à 18% (1980-86). En dollars constants (1986), l'investissement brut des pays d'Amérique latine est tombé de 192 milliards de dollars en 1980 à 141 en 1987, et l'investissement brut par travailleur a décliné de 1634 dollars en 1980 à 1039 en 1987 41/.

Ces évolutions macro-économiques ont eu un effet négatif sur le secteur des biens de production, où les pays latino-américains avaient réalisé des gains substantiels dans les années 70. Les sous-secteurs du matériel de transport et des machines non électriques ont vu leur production diminuer respectivement de 2,3% et 2,6% par an entre 1980 et 1987 42/. Cette crise a sérieusement érodé la position de l'industrie latino-américaine.

En Argentine, la production locale a débuté en 1903, et vers la fin des années 20 plusieurs entreprises avaient été établies par des immigrants, souvent sous la forme d'ateliers de réparation qui s'engageaient dans la production sur la base dite "reverse engineering" ("rétrotechnique") sous la protection de restrictions aux opérations de change. La production a commencé sur une grande échelle dans les années 60 et le début des années 70 a été considéré comme l'"âge d'or" pour l'industrie. En 1973, quelque 73 entreprises employaient 13 000 ouvriers. La production a atteint un maximum de 22 500 unités en 1973, et 5 000 ont été exportées. Cependant, en 1985 la production avait chuté et ne représentait plus qu'un dixième du volume de 1973, et l'effectif du personnel employé n'était plus que de 2 500.

L'industrie a été fortement affectée par la crise économique et par la réduction soudaine et draconienne des mesures de protection. La production intérieure et l'investissement ont chuté et beaucoup d'entreprises de construction de machines-outils ont fait faillite. Certains producteurs, qui avaient pu compenser la contraction du marché domestique par l'exportation vers d'autres pays latino-américains, ont été affectés par la récession dans ces pays. Après des années de forte crise, la production est remontée à 35 millions de dollars en 1987. La part de la consommation apparente dans les importations, qui fluctuait aux environs de 50%, a augmenté considérablement depuis 1980, et entre 1986 et 1988, la croissance des exportations a quelque peu compensé le déclin de la consommation intérieure (figure 10).

L'industrie est composée de quatre grands groupes du point de vue des ventes et des niveaux technologiques 43/. Dans le premier groupe, il existe trois entreprises qui produisent régulièrement des machines-outils à commande

41/ Banque interaméricaine de développement : Economic and Social Development in Latin America, Washington, 1988.

42/ Pourcentages calculés à partir de statistiques de l'ONUDI.

43/ D. Chudnowski: The diffusion and production of numerical controlled machine tools with special reference to Argentina, World Development, vol 16 no. 6, 1988.

numérique (tours, fraiseuses et centres d'usinage) et utilisent des licences étrangères; le deuxième comprend trois entreprises productrices de machines intervenant par déformation de métal; trente petites entreprises composent le troisième groupe, et le quatrième est constitué d'entreprises sous-traitantes et qui ont une capacité technologique limitée.

L'industrie brésilienne (figure 11) de la machine-outil est la plus importante d'Amérique latine. La production locale a reçu une impulsion considérable durant la seconde guerre mondiale, par suite de l'interruption des fournitures étrangères. La production nationale a quelque peu décliné à la fin de la guerre avec la levée des restrictions aux importations, mais la croissance des industries mécaniques a été suffisante pour maintenir l'intérêt en ce qui concerne la production locale de machines-outils. En 1970, le Brésil satisfaisait à la moitié de ses besoins et exportait dans le cadre de l'Arrangement latino-américain de libre-échange.

L'industrie s'est développée durant les années 70, et sa production est passée de 33 millions de dollars à 400 millions. La crise économique qui a entraîné une forte réduction du marché domestique et par la suite du principal marché d'exportation (Mexique) a entraîné une réduction brutale de la production, et l'industrie a connu cinq années de profonde récession (1981-1986). En raison de la forte pénurie de devises et de la centralisation des paiements des produits importés, les constructeurs de machines-outils ont été parfois incapables de se procurer des pièces détachées et des matériaux auprès de fournisseurs étrangers. Nombre de pays qui s'étaient révélés incapables d'exporter vers des pays d'Amérique non latine fonctionnaient à un niveau très réduit de capacité, et beaucoup firent faillite. En raison des effets reflationnistes du plan Cruzado (1986), le marché domestique a quelque peu repris et la production a augmenté en 1986 et 1987; cependant, la production a de nouveau chuté en 1988 et en 1989.

Au Brésil et en Argentine, la crise a aggravé le retard technologique. La production locale de machines-outils à commande numérique représentait 36% de la production de machines-outils en 1986/87 (742 unités produites en 1988). L'accroissement de la pénétration des produits importés au Brésil s'accompagne d'une réduction de la consommation apparente.

On peut distinguer 44/ trois principaux groupes d'entreprises. Le premier comprend une douzaine de filiales d'entreprises étrangères qui ont été attirées par la progression de l'industrie automobile; ces filiales produisent des chaînes de transfert, des tours à commande numérique, des aléseuses à commande numérique, des centres d'usinage et une large gamme de machines complexes. Le second comprend une douzaine d'entreprises brésiliennes petites et moyennes qui concentrent leur activité sur la production de machines-outils classiques et se sont récemment engagées dans la commande numérique. Un troisième comprend 80 petites et moyennes entreprises brésiliennes qui fabriquent des machines-outils classiques universelles.

44/ F. Erber: Co-operation in industrial automation between Argentina and Brazil, ONUDI décembre 1989.

Figure 10 : ARGENTINE
Production, consommation et échanges

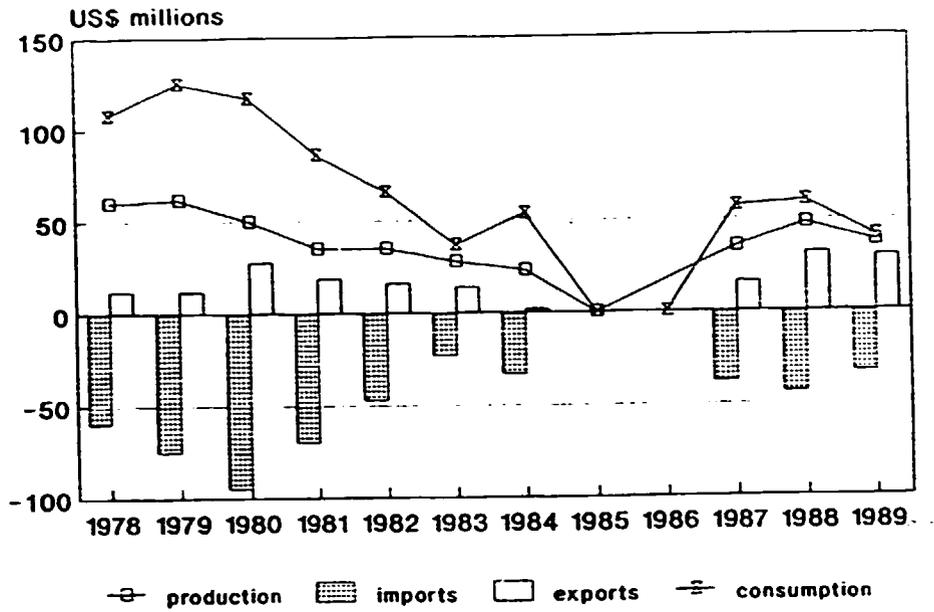
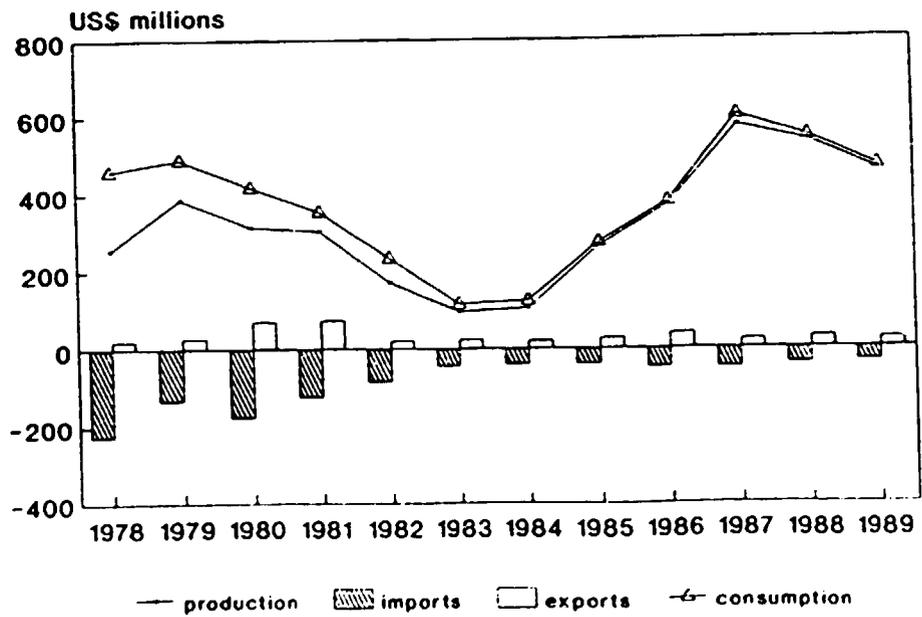


Figure 11 : BRÉSIL
Production, consommation et échanges



La production nationale du Mexique a débuté dans les années 30 ^{45/}. Cependant, de nombreuses entreprises disparurent après la seconde guerre mondiale en raison de l'obsolescence de la technologie et de la forte concurrence des produits importés. L'activité dans le domaine de la machine-outil a de nouveau repris dans les années 60 et, durant le boom de la production pétrolière dans les années 70, la production est passée de 2 millions de dollars en 1974 à un maximum de 24 millions en 1981.

La politique industrielle suivie par le Mexique n'a pas favorisé le développement de cette industrie. L'industrie des biens d'équipement n'a joui que d'une faible protection, et les services gouvernementaux et le secteur privé en général ont trouvé plus facile d'importer des biens de production. Les entreprises d'Etat jouissaient d'un accès illimité aux équipements importés et de l'exonération totale des charges douanières ^{46/}. Le Mexique est parmi les pays latino-américains, le plus gros importateur de machines-outils, et les importations couvrent plus de 80% de la consommation nationale. L'augmentation de la consommation ces dernières années (255 millions de dollars en 1988) n'a pas entraîné une croissance parallèle à la production nationale (18 millions de dollars en 1988).

La production locale est extrêmement limitée et couvre moins de 10% de la demande domestique; les machines produites sont de simples machines classiques, tandis que 40% des importations sont des machines-outils à CN et des centres d'usinage.

Le nombre d'entreprises productrices de machines-outils est tombé de 30 à 1966 à 7 en 1980 et à 4 en 1989 avec un total de 295 employés. Les entreprises les plus importantes sont deux coentreprises. La FAMA (Fábrica de Máquinas y Accesorios) dont le chiffre d'affaires était en 1988 de 3 millions de dollars, est une coentreprise à laquelle participe la société tchécoslovaque STROJIMPORT. OERLIKON MEXICANA est une coentreprise créée avec la participation d'OERLIKON (Suisse); son chiffre d'affaires était en 1988 d'un million de dollars. Plusieurs entreprises ont disparu depuis 1980, par exemple INDUSTRIAL LAGUMERA, qui était la plus ancienne société productrice de machines-outils.

Parmi les autres pays d'Amérique latine, la Colombie, Cuba, le Pérou et le Venezuela produisent aussi des machines-outils.

Il existe trois grandes entreprises productrices en Colombie. La première s'est développée à partir d'un atelier de réparation d'un important groupe textile. Elle produisait à l'origine des tours mécaniques, des perceuses d'établi, à colonne et radiales et des raboteuses. Elle a débuté sans accord de licence et a acquis le savoir-faire technique auprès d'une entreprise tchécoslovaque. Deux autres producteurs de tours fonctionnaient dans le cadre d'accords de licence avec des entreprises espagnoles. Un certain nombre d'entreprises produisaient des équipements de déformation de métal tels que des presses excentriques et hydrauliques.

^{45/} M. Humbert et O. Castel: La machine-outil au Mexique, ONUDI, 1990.

^{46/} Banque mondiale: The manufacturing sector: situation, prospects and policies, Washington, 1979.

Au Pérou (1987) 47/ où la production a commencé dans les années 70, il existe 55 établissements de production de machines-outils employant 500 travailleurs au total. La production locale, qui se chiffrait à 836 000 dollars en 1988, couvrait 5% de la demande locale de machines-outils fonctionnant par enlèvement de métal et 11% de celle de machines-outils fonctionnant par déformation de métal. Les principaux produits manufacturés sont des tours parallèles, des presses hydrauliques et des fraiseuses faisant l'objet d'accords de licence avec l'Argentine, le Brésil, l'Italie, la Tchécoslovaquie, la Bulgarie et la Roumanie.

1.3.3. République populaire de Chine, Inde et Pakistan

En République populaire de Chine (figure 12), la production de machines-outils a commencé dans les années 30. Les usines détruites durant la seconde guerre mondiale ont été reconstruites et 20 grandes fabriques de machines-outils ont été créées dans les années 50. Durant les années 60, d'autres usines ont été construites selon la philosophie de l'époque qui était de disperser l'industrie.

Le secteur comprenant la production de machines-outils et accessoires ainsi que de machines à bois emploie 600 000 personnes. Sa production était évaluée à 832 millions de dollars en 1989. Il comprend plus de 400 entreprises grandes, moyennes et petites, dont 121 sont considérées comme grandes entreprises et fonctionnent sous la direction du Ministère de l'industrie de la construction de machines.

La production de la Chine permettait jadis de satisfaire à presque tous ses besoins; cependant, à la suite du programme de modernisation lancé en 1978, les importations ont fortement augmenté, pour atteindre près de 50% de la consommation apparente en 1988, contre 14% en 1978, tandis que la part des exportations dans la production passait également de 5% en 1978 à 15% en 1988. Les principaux marchés sont les pays en développement, spécialement d'Asie du Sud-Est. La République populaire de Chine a produit en 1985 151 800 machines-outils fonctionnant par enlèvement de métal, et, selon les estimations, 161 000 en 1986 48/; ces chiffres de production sont inférieurs à la réalité, car un grand nombre d'entreprises produisent des machines pour leur propre usage. En 1982, on estimait le nombre de machines-outils installées en Chine à 3 millions environ d'unités, ce qui, en comparaison de la capacité installée dans les pays industrialisés (2,3 millions aux Etats-Unis), paraît excessif. Cette situation s'explique par l'adhérence de l'industrie chinoise au principe de l'autodépendance et par le fait que contrairement à la pratique suivie dans les pays industrialisés, où les machines vieilles et obsolètes sont remplacées par des machines modernes, la Chine conserve ses vieilles machines et y ajoute simplement les nouvelles 49/.

47/ J. Gonzalez-Roda: La Industria de Maquinas-Herramienta y la difusion del control numerico en el Peru y Bolivia, ONUDI, février 1990.

48/ American Machinist, février 1987.

49/ BIRD: Staff appraisal report, Shanghai machine-tool project, Washington, 1987.

Figure 12 : CHINE
Production, consommation et échanges

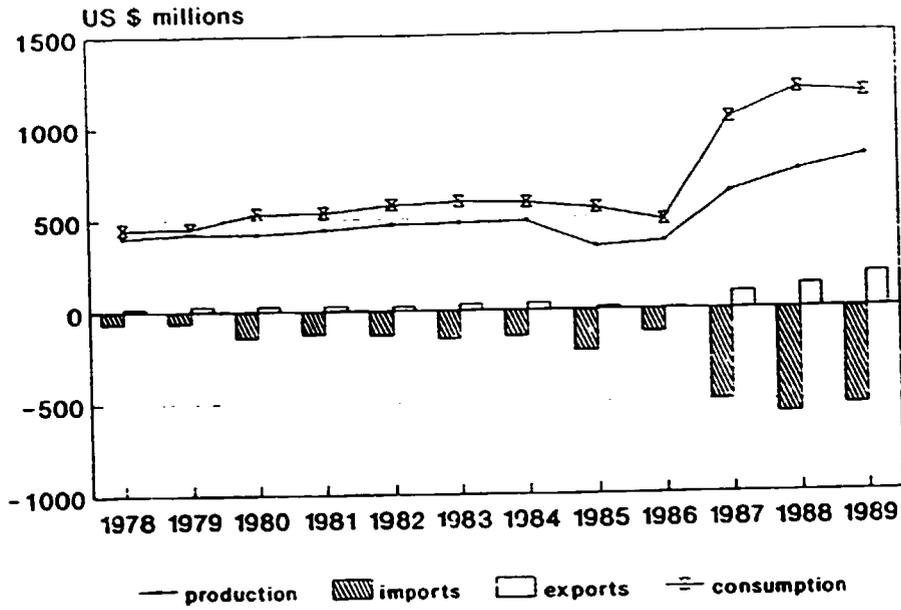
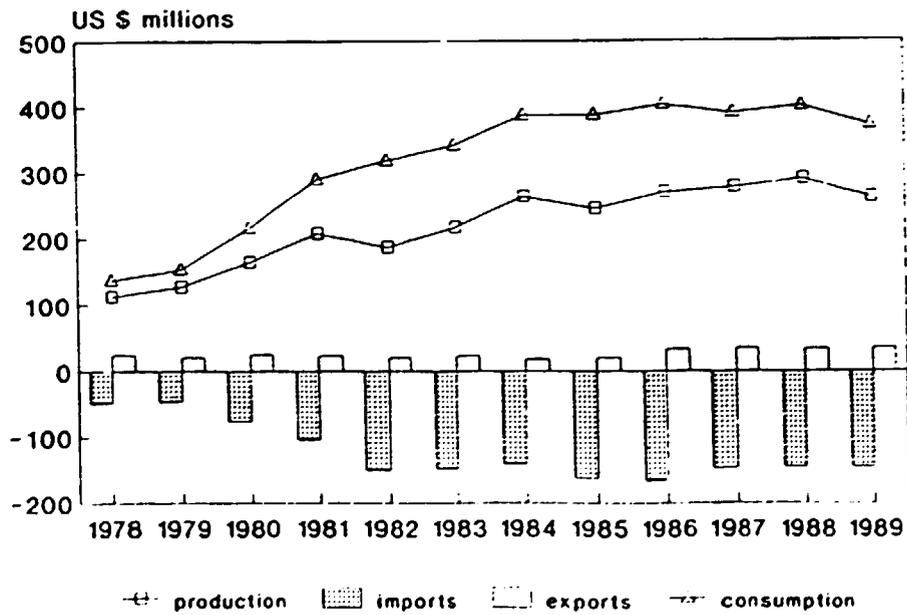


Figure 13 : INDE
Production, consommation et échanges



La production indienne de machines-outils (figure 13) a commencé dans les années 30, et le nombre total de fabricants avant la seconde guerre mondiale était estimé à une centaine. La guerre a obligé les fabricants à produire du matériel de défense, ce qui a stimulé la demande de machines-outils. Le Gouvernement britannique en Inde a adopté en 1941 une ordonnance (Machine Tool Control Order), dont le principal objectif était de réglementer et d'améliorer la production et d'assurer la fourniture des meilleures machines aux industries de guerre. L'interruption des importations a obligé l'industrie locale à déployer de plus grands efforts : 20 000 machines-outils ont été produites au cours des six années de guerre, contre 273 en 1941.

Après la guerre, l'industrie s'est révélée incapable de faire face à la concurrence des produits importés, et le nombre d'entreprises est tombé de 125 à 45. Le nouveau gouvernement indien a décidé d'aider l'industrie des machines-outils. Un accord de collaboration a été signé avec OERLIKON et BUHRLE (Suisse) en vue de la création de HINDUSTAN MACHINE TOOLS Ltd (Bangalore), qui a commencé à produire en 1955. Des mesures d'encouragement ont été accordées aux entreprises, et les importations ont été soit réduites soit interdites. De nombreux autres accords ont été signés avec les principaux producteurs d'Europe, du Japon et des Etats-Unis d'Amérique. La production a permis de faire face à la demande accrue, de 23% en 1961 à 71% en 1971 et 70% en 1980 50/.

A la fin des années 70, l'industrie indienne des machines-outils a pu fabriquer la plupart des machines à destination générale requises par les utilisateurs locaux. HMT a commencé à produire des machines-outils à NC/CNC en 1970, grâce à ses propres efforts de R-D; cependant, l'industrie utilisatrice locale ne manifesta pas beaucoup d'intérêt pour cette technologie 51/. Lorsque le Gouvernement introduisit des mesures libéralisées au début des années 80, l'industrie importa de grandes quantités de machines spécialisées et de machines-outils à CNC, ce qui explique la croissance de la part des importations dans la consommation intérieure (40% de la consommation intérieure en 1988). La coopération technologique a aidé les entreprises indiennes de construction de machines-outils à introduire des machines-outils à CNC (300 produites en 1986), et si cette tendance se confirme, la part des machines-outils à CNC se chiffrera à 30% de la production totale en 1994 52/.

Les exportations de machines-outils ont progressé, et l'Union des Républiques socialistes soviétiques est devenue le principal marché des exportations indiennes après la signature d'un nouvel accord de coproduction entre les deux pays en 1987. Les exportations à destination d'autres pays industrialisés ainsi que de pays en développement où HMT avait établi certains projets d'usines de machines-outils clés en main ont progressé. Les machines-

50/ Selon les statistiques d'American Machinist; toutefois, selon les statistiques indiennes le pourcentage était de 86% en 1979.

51/ H.C. Gandhi: Etude régionale sur l'industrie de la machine-outil en Asie : le cas de l'Inde, ONUDI 1990.

52/ Selon le rapport de l'Inde à la réunion du groupe de travail sur la coopération dans le domaine de la production et de l'application des machines-outils dans certains pays en développement, Shanghai, mai 1989.

outils japonaises comptent pour un quart du marché d'importation. Les importations de Taiwan, Province de Chine, et de République de Corée augmentent; ces deux pays approvisionnent les petites entreprises, secteur dans lequel la demande progresse.

Au Pakistan 53/, la production d'armes à feu, qui a commencé en 1860, a offert une base pour la progression de l'industrie des machines-outils. Un tour à pointes a été construit en 1905, et plusieurs producteurs de machines-outils ont commencé à faire face à la demande résultant de la fabrication de moteurs thermiques dans les années 20. Sur les 188 établissements recensés en 1985, 13 fonctionnaient déjà avant 1940. En 1962, le gouvernement a décidé d'établir une fabrique de machines-outils. La Pakistan Machine Tool Factory (PMTF) s'est ouverte en 1969 en coopération avec OERLIKON et BUHRLE (Suisse) et BECO (appelé plus tard PECO), une entreprise privée, a été reprise par le secteur public en 1972. Le programme de production des entreprises d'Etat s'est concentré sur les fraiseuses, les tours revolver et les tours à pointes de précision; ces entreprises ont concentré leur activité sur le marché national de machines de haute précision, tandis que les entreprises privées de machines-outils, qui produisaient des machines moins précises mais compétitives au niveau des prix, approvisionnaient un marché beaucoup plus vaste.

Le Pakistan produit actuellement quelque 4 500 machines-outils par an, dont 4 300 proviennent du secteur privé; la production intérieure représentait 55% de la consommation intérieure (mesurée en unités) en 1985. Le volume des exportations, bien que très modeste (250 unités en 1985) demeure révélateur des capacités de l'industrie de la machine-outil.

1.3.4. Asie du Sud-Est

Les branches de l'industrie à forte participation d'ingénierie des pays du Sud-Est, qui a commencé à se développer à partir d'opérations à forte participation de main-d'oeuvre, ont connu un développement très dynamique, avec un taux d'accroissement de 15,4% entre 1980 et 1987. La part de l'Asie du Sud-Est dans le total de l'industrie mécanique mondiale est passée de 8,6% à 17,1%. L'industrie électrique est le secteur le plus dynamique en Asie du Sud-Est. Cependant, durant les années 80, les secteurs des équipements non électriques et de transport ont aussi connu de forts accroissements, encore accentués ces dernières années par suite de la réévaluation du yen, qui a incité les entreprises japonaises à rechercher des débouchés dans les pays d'Asie du Sud-Est et des possibilités de transfert de technologie dans ces pays. Le développement des industries mécaniques, ainsi que la progression des investissements tant intérieurs qu'étrangers en Asie du Sud-Est ont accéléré la demande de machines-outils.

53/ Ghulam Kibria: A study of the machine-tool industry, potential of indigeneous capability in the engineering industry of Pakistan, Research Report Series Number 21, National Development Corporation, Karachi, mars 1988.

En République de Corée 54/ (figure 14), la plupart des entreprises de machines-outils d'avant-guerre ont été détruites durant la guerre de Corée. L'industrie de la machine-outil était à un stade embryonnaire avant le début des années 70, ce qui reflétait l'état généralement sous-développé de l'industrie mécanique.

Après le milieu des années 70, l'industrie de la machine-outil s'est développée rapidement, avec l'aide des plans de développement à long terme du gouvernement, qui prévoyaient notamment la construction d'un complexe de construction mécanique à Changwon. Durant le cinquième plan quinquennal de développement économique, le gouvernement a déclaré l'industrie de la machine-outil grand secteur d'exportation. La production est passée de 2,6 millions de dollars à 53 en 1980 et à 159 en 1985.

De 1986 à 1989, l'industrie coréenne s'est développée d'une façon spectaculaire, et en progression des investissements dans les industries mécaniques a provoqué une augmentation de la consommation de machines-outils, tandis que l'augmentation des salaires stimulait la demande d'automatisation des usines. La République de Corée était en 1988 le sixième marché du monde en ce qui concerne la machine-outil. La production intérieure est passée de 200 millions de dollars en 1985 à 600 millions en 1988; cependant, cette progression a été insuffisante pour faire face à l'augmentation de la demande. Les problèmes de main-d'oeuvre, la libéralisation des importations et le renforcement du won par rapport au dollar ont été parmi les facteurs qui ont incité à satisfaire une grande partie de cette demande par des importations, lesquelles représentaient 50% de la consommation apparente en 1988 (30% à la fin des années 70). Alors que la production coréenne est surtout orientée vers le marché domestique, la compétitivité engendrée au niveau des prix par la réévaluation du yen japonais a entraîné une augmentation des exportations.

La production de machines-outils à commande numérique, qui a débuté au début des années 80, a progressé rapidement, et en 1988 représentait 34,9% en valeur de la production de machines-outils fonctionnant par enlèvement de métal.

Selon la Korea Machine Tool Manufacturer Association, il existe 96 fabricants de machines-outils, employant au total 18 000 travailleurs. L'industrie est caractérisée par sa concentration; les 12 plus grandes entreprises comptent pour plus de 50% de la main-d'oeuvre. La principale est la KIA Machine Tools, filiale du groupe KIA (automobiles) (80 millions de dollars en 1987), suivie par WHACHEON (70 millions de dollars), SAMCHULLY et DAEDONG. La production de machines-outils est aussi assurée dans le cadre de grandes entreprises de construction automobile (HYUNDAI et DAEWOO).

Durant les années 70, Taiwan, Province de Chine (figure 15), fournisseur "amateur" 55/ de machines-outils au Sud-Est asiatique est devenu le huitième exportateur mondial et le quatrième exportateur vers les Etats-Unis d'Amérique. La production est passée de 10 millions de dollars en 1970 à 245

54/ P. Judet: L'industrie de la machine-outil en Corée, ONUDI, 1990.

55/ Alice H. Amsden: The division of labour is limited by the rate of growth of the market: The Taiwan machine-tool industry in the 1970's, Cambridge Journal of Economics, 1985, 271-284.

Figure 14 : REPUBLIQUE DE COREE
Production, importations et exportations

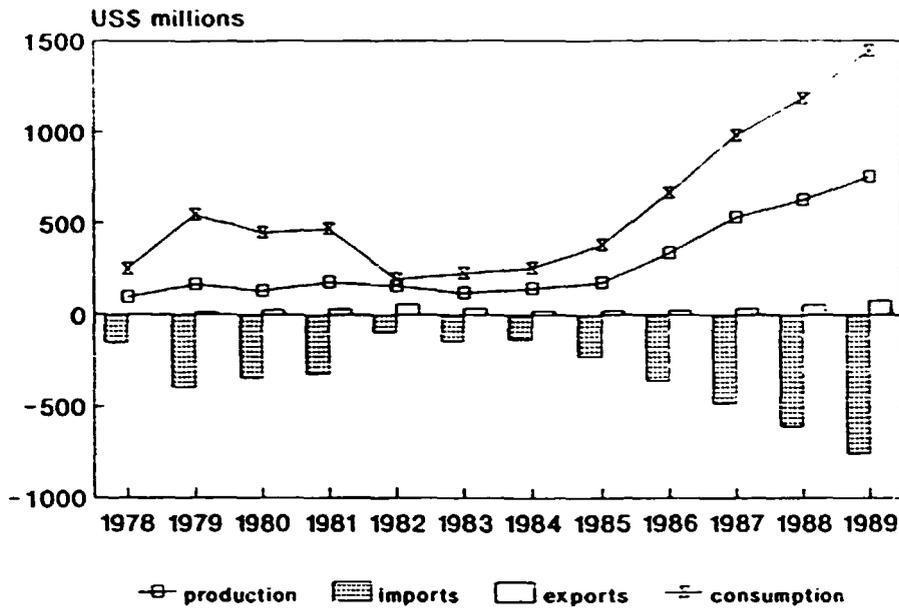
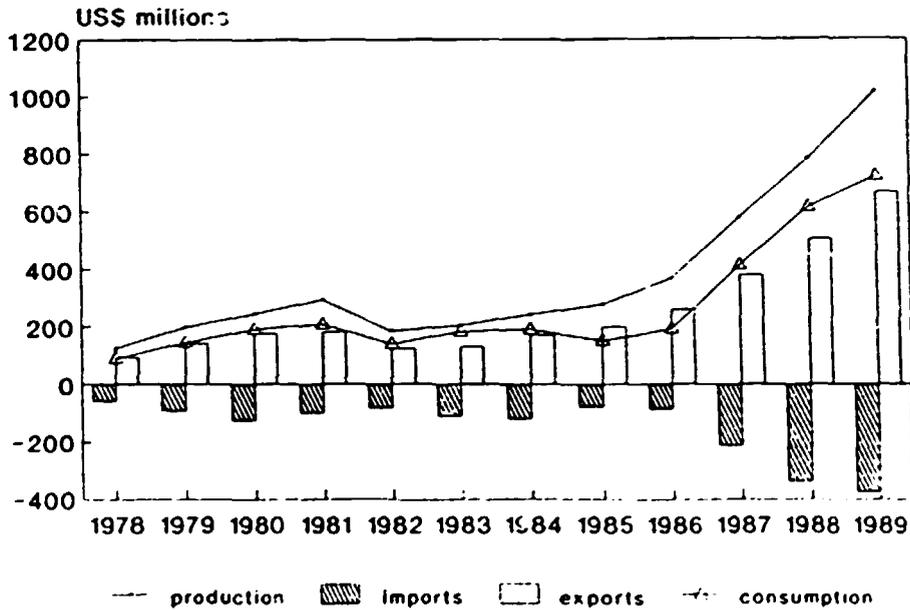


Figure 15 : TAIWAN, CHINE
Production, importations et exportations



en 1980. Après cinq ans de stagnation, la réévaluation du yen a donné une autre impulsion aux exportations taiwanaises, qui ont doublé entre 1986 et 1988, tandis que l'accroissement de l'investissement intérieur provoquait une augmentation de la consommation intérieure de machines-outils. Taiwan, Province de Chine, est le seul pays en développement ayant un excédent commercial dans le domaine de la machine-outil. Un accord de restriction volontaire des exportations signé avec les Etats-Unis en 1987 ^{56/} et l'augmentation très marquée du nouveau dollar de Taiwan ont gêné les exportations en 1988, alors même que les importations augmentaient de 33%. Pour surmonter ces nouveaux problèmes, l'industrie diversifie ses marchés, et plusieurs entreprises ont décidé de créer des usines de montage aux Etats-Unis d'Amérique.

Selon l'Association taiwanaise de producteurs de machines-outils, l'industrie comprend de 300 à 500 petites entreprises implantées dans la région de Taichung où existe un important secteur de sous-traitance employant 30 000 travailleurs. Les machines-outils à commande numérique représentent quelque 30% de la production en termes de valeur.

Au cours d'une période relativement brève, Singapour est apparu comme un important pays constructeur de machines-outils. La production a débuté en 1977, et en 1988 les ventes se chiffraient à 37 millions de dollars. La progression de l'industrie est due aux facteurs suivants ^{57/} : i) la présence de constructeurs internationaux de machines-outils dans le pays, ii) la disponibilité de fortes industries d'appui telles que les entreprises de traitement thermique et de mécanique de précision (et d'une industrie électronique hautement développée) et enfin iii) la facilité d'établissement de relations de sous-traitance sur une base régionale (avec la Malaisie et dans une certaine mesure la Thaïlande).

En Indonésie, le boom pétrolier des années 70 a financé les investissements dans l'industrie manufacturière et engendré une forte demande de machines-outils. Cependant, seules des machines-outils simples étaient produites. Une société d'Etat a été créée en 1983 (PT IMPI) et 11 sociétés privées ont été agréées par le gouvernement. Malheureusement, la demande intérieure a commencé à décliner en raison de la chute des cours pétroliers. Les importations de machines-outils, qui avaient atteint un sommet de 120 millions de dollars en 1981, sont tombées à 48 millions en 1986 pour remonter à 110 millions en 1987 et 1988. La production nationale est demeurée très faible (1,3 million en 1988), les machines les plus fréquemment construites étant les tours; 241 unités ont été produites localement, tandis que 1782 étaient importées sous la forme d'unités complètes ^{58/}.

L'industrie de la machine-outil de la Malaisie est limitée à quelques fabricants de machines-outils à bois et de perceuses à métaux simples. La demande intérieure de machines-outils, actuellement estimée à 60 millions de dollars EU, est principalement satisfaite par des importations.

^{56/} Dans cet accord, Taiwan, Province de Chine, s'engageait à réduire de 10% les exportations vers les Etats-Unis d'Amérique de centres d'usinage, de tours et de fraiseuses.

^{57/} The Machine-Tool industry in the ASEAN region: options and strategies: Main issue at regional level, ONUDI IS.634.

^{58/} Indonesian Commercial Newsletter, octobre 1988.

1.3.5. Afrique du Nord et Asie de l'Ouest

Dans certains pays d'Afrique du Nord et d'Asie occidentale, les recettes pétrolières ont fourni au secteur de la production des moyens suffisants pour importer des biens d'équipement et des techniques. Les industries en aval de la production pétrolière ont suscité une croissance industrielle dans cette région, tandis que le secteur des industries mécaniques, particulièrement le secteur non électrique, enregistrait une croissance inférieure à la moyenne.

La capacité de production dans les pays arabes 59/, estimée à 3000 machines par an, contre 2 000 en 1987, est fortement concentrée en Algérie, en Egypte et au Maroc 60/.

En République islamique d'Iran, la TABRIZ MACHINE MANUFACTURING COMPANY, créée en 1971, est le principal et en fait le seul fabricant de machines-outils. La production est limitée aux tours, perceuses et fraiseuses. Cette société, qui a conclu un accord de coopération avec la Tchécoslovaquie, a commencé à produire des fraiseuses avec DECKEL (RFA) en 1985. Une compagnie privée, issue d'un petit centre de recherche en ingénierie, a commencé à fabriquer des machines à électro-érosion, et a réussi à en exporter quelques-unes. La production de machines-outils couvre une part réduite du marché domestique, qui se chiffre à 100 millions de dollars au total 61/.

En Egypte, HELWAN MACHINE TOOL Co. est une société d'Etat créée en 1958, qui a commencé à produire en 1962. L'usine de construction de machines a été créée en vertu d'un accord de livraison clé en main par l'URSS. L'accord prévoyait la fourniture de plans et de savoir-faire technique. L'usine était équipée de matériel classique, et une unité de recherche-développement a été fournie pour permettre aux ingénieurs de l'usine de concevoir et de développer des machines de fraisage et de rectification et d'apporter certaines modifications à la conception des tours. Un programme de modernisation est en cours avec l'assistance d'une entreprise allemande. On évalue à 85% le taux d'intégration locale 62/.

Un fabricant privé d'équipements de travaux publics (HAWASH), désireux de se diversifier, a entrepris la production de machines-outils en 1966 afin de produire des machines simples pour les sous-traitants locaux.

En Algérie, l'industrie de la machine-outil est dominée par une seule entreprise nationale, l'Entreprise nationale de production de machines-outils (ENPMO), qui a commencé à produire en 1977. La production cumulée se chiffre à 7 000 machines-outils. Il existe sept types de production : fraiseuses,

59/ Algérie, Egypte, Irak, Jordanie, Libye, Maroc, Arabie saoudite, Syrie et Tunisie.

60/ Organisation arabe de développement industriel : Le développement de la machine-outil dans le monde arabe, 1987.

61/ Industrial Development and Renovation Organization of Iran: Development of machine tool industries in Islamic Republic of Iran, note présentée à la réunion de Shanghai sur les machines-outils, mai 1989.

62/ M.O. Benouali : Rapport pour la réunion sur la coopération interarabe dans le domaine de la machine-outil, ONUDI, 1990.

aléseuses, tours, scies à métaux, étaux-limeurs et rectifieuses. La production actuelle de l'ENPMO se chiffre à 20 millions de dollars (500 salariés) et la demande intérieure à 233 millions de dollars. Le niveau moyen d'intégration est de 78% 63/.

Une coentreprise de production de machines fonctionnant par enlèvement de métal et de machines à bois a été créée par le Maroc et la Tunisie, avec la participation d'un fabricant français de machines-outils. Cette entreprise fabrique des tours et des fraiseuses.

1.3.6. Afrique sub-saharienne

En 1984, 72 des 179 pays qui fournissent régulièrement des données industrielles détaillées au Bureau de statistique des Nations Unies ont déclaré une production nulle des 145 articles classés sous la rubrique "Manufacture de produits métalliques fabriqués, de machines et d'équipements". La même année, 51 pays ont signalé que leur production de biens d'équipement était limitée à la fabrication d'une dizaine de produits 64/. Beaucoup de ces pays, qui appartiennent au groupe des pays les moins avancés, sont situés en Afrique. En raison du faible niveau de développement de l'industrie mécanique de la plupart des pays africains, seuls quelques-uns se sont engagés dans la fabrication de machines-outils. En Tanzanie, la KILIMANJARO MACHINE TOOL a commencé son activité de production en 1983 sur la base d'importations d'éléments de production de MACHINOEXPORT (Bulgarie). Cette société produit huit types de machines-outils classiques, notamment des machines fonctionnant par enlèvement de métal et des tours à bois, des rectifieuses et des perceuses, des raboteuses, des scies à métaux et des scies à ruban et des machines à bois à usages multiples. Au Nigéria, la NIGERIA MACHINE TOOLS fonctionne depuis 1980 en coopération avec HINDUSTAN MACHINE TOOLS de l'Inde, et le Zimbabwe et l'Ethiopie produisent des pièces détachées pour machines-outils.

2. Consommation de machines-outils

La consommation de machines-outils est un indicateur approximatif du taux d'industrialisation d'un pays. En 1988, les pays industrialisés comptaient pour 63% de la consommation mondiale de machines-outils, la part des économies centralisées étant de 28% et celle de pays en développement de 9%, pourcentages proches de la participation globale aux industries mécaniques.

Les principaux pays producteurs sont aussi les principaux marchés de consommation. Parmi les pays dont les marchés domestiques dépassaient le niveau du milliard de dollars entre 1986 et 1988 figurent l'Union des Républiques socialistes soviétiques, les Etats-Unis d'Amérique, l'Allemagne

63/ Belhadh A. et Chelbi A.: L'industrie de la machine-outil en Algérie et en Tunisie. ONUDI 1990 et ENPMO: La machine-outil en Algérie, situation actuelle et stratégie de développement, mai 1989.

64/ ONUDI: Industrie et développement dans le monde, rapport 1988/89, Vienne, p. 125.

(ex-RFA), le Japon et l'Italie. L'inversion du classement comparée à la production, pour les Etats-Unis et l'URSS d'une part et le Japon et la RFA d'autre part, reflète la diversité des structures commerciales de ces pays.

2.1. Dynamique de la consommation dans les économies industrialisées

La demande de machines-outils est étroitement liée au comportement en matière d'investissements dans les industries mécaniques, où la nécessité s'impose de réaménager technologiquement les installations existantes et d'installer de nouvelles capacités de production (encadré 7).

La consommation de machines-outils, qui représentent des éléments de "hardware" était jadis étroitement liée à l'investissement dans l'industrie manufacturière. Cependant, en raison des modifications technologiques en cours, cette situation est moins manifeste dans les pays industrialisés. Par exemple, l'Allemagne (ex-RFA) a dépensé moins pour les machines-outils en 1988, date où pourtant l'investissement dans l'industrie manufacturière était le plus élevé depuis 1985; de même, aux Etats-Unis d'Amérique, la consommation de machines-outils a décliné de 1987 à 1988 bien que l'investissement dans l'industrie manufacturière ait augmenté. La figure 16 illustre cette tendance; elle montre l'évolution de l'investissement dans l'industrie manufacturière (en volume) en comparaison de la consommation de machines-outils mesurée en prix constants dans le cas des Etats-Unis d'Amérique, de l'Allemagne (ex-RFA) et du Japon.

Cette évolution s'explique par l'importance relative des dépenses en logiciels par rapport aux dépenses en matériel dans le cadre de l'investissement en biens d'équipement : la dématérialisation du capital. L'acquisition de nouveaux équipements tels que les machines-outils à commande numérique et de systèmes de fabrication flexible exige des dépenses toujours plus grandes en termes de logiciels. On estimait que la fraction à prévoir pour l'investissement en logiciels en comparaison de l'investissement en matériel nouveau dans l'industrie manufacturière, qui était de 10% en 1980, passerait à 20% en 1990 et à près de 50% en 2000 ^{65/}.

2.2. Consommation de machines-outils dans le pays en développement

Le tableau 14 fournit des chiffres de consommation pour certains pays en développement pour la période 1987-1989.

^{65/} R.U. Ayres: Technology forecast for CIM dans Manufacturing Review, vol 2, no 1, mars 1989.

Encadré 7 : Dynamique de la consommation

Les facteurs économiques expliquant la fluctuation de la demande de machines-outils dans les pays industrialisés ont été analysés par l'UCIMU, qui compare la consommation de machines-outils avec les variables macro-économiques dans les principaux pays industrialisés, et teste leurs relations au cours de la période 1980-1986.

Selon ses calculs d'élasticité cyclique, l'investissement dans les machines-outils au cours de ces sept années dépendait plus de fluctuations de la conjoncture que du développement économique. Deux explications peuvent être prises en considération lorsqu'on étudie la dynamique de la consommation de machines-outils.

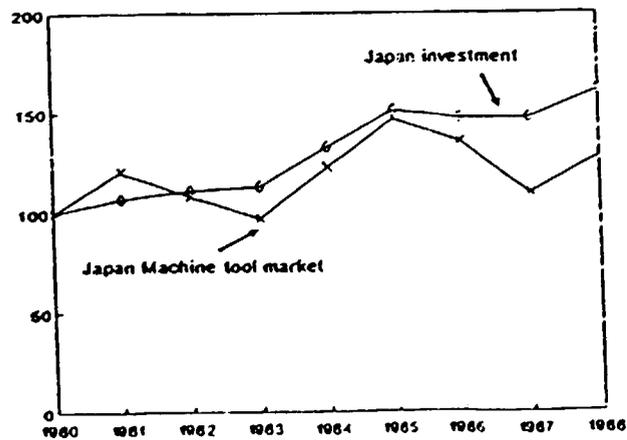
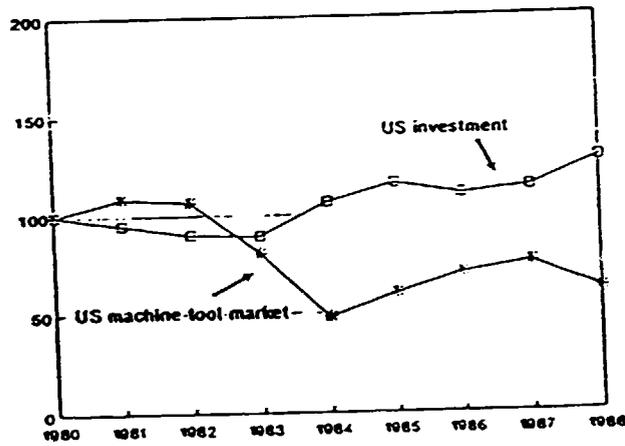
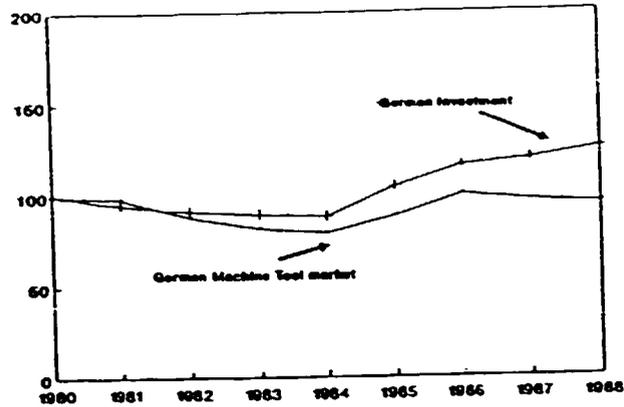
La première suppose que la demande de machines-outils constitue la réponse à un besoin de nouvelles capacités déjà présent chez les utilisateurs finaux; dans ce cas, sa croissance (ou son déclin) doit se produire avec un certain décalage par rapport aux modifications du PIB.

Symétriquement, on peut supposer que la demande de machines-outils précède les modifications du PIB, puis que la création de capacités nouvelles par les usines implique l'acquisition préalable des biens d'équipement appropriés.

La première hypothèse correspond au modèle conceptuel selon lequel l'investissement dépend du niveau des profits courants, lequel détermine la possibilité de financement, et du niveau estimatif des profits, qui détermine l'opportunité d'investir; la seconde est plus technique et donne une plus grande importance aux éléments exogènes entrant en considération dans les décisions d'investissement.

Ces deux hypothèses ont été testées en Italie par l'UCIMU, qui a introduit des décalages entre le PIB et la consommation de machines-outils. Les résultats font apparaître un plus fort coefficient de corrélation dans la première hypothèse. Pour l'exemple de l'Italie, il apparaît que la consommation de machines-outils est étroitement liée aux prévisions des tendances économiques.

Figure 16 : L'investissement dans l'industrie manufacturière et la consommation de machines-outils



Source: OECD and American Machine Tool

Tableau 14 :
Consommation de machines-outils des pays en développement
(valeur moyenne en millions de dollars pour 1987-1989)

République de Corée	1203	Indonésie	69
Chine (Rép. pop.)	1132	Malaisie	67
Taiwan, Province de Chine	584	Thaïlande	59
Brésil	539	Argentine	53
Inde	388	Venezuela	50
Yougoslavie	336	Portugal	40
Mexique	223	Hong-kong	38
Iran	100		
Singapour	96		
Algérie	93		

Sources : Compilation à partir de données d'American Machinist, de données commerciales des Nations Unies et de statistiques nationales.

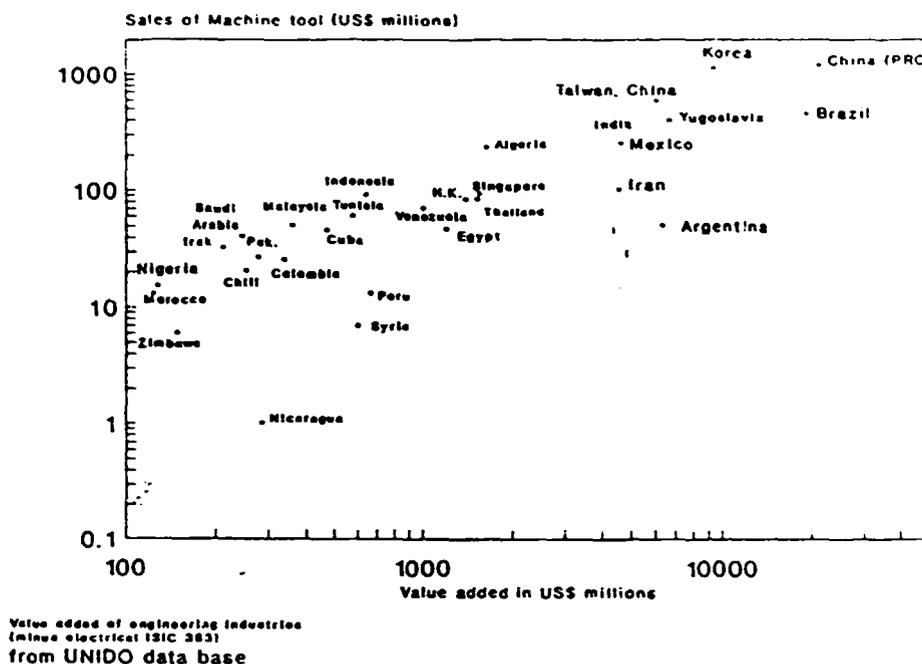
Une relation apparaît nettement entre la consommation apparente de machines-outils dans un pays donné et le niveau de développement de ses industries mécaniques (mesuré par sa valeur ajoutée) ^{66/}. La figure 17 illustre cette corrélation dans le cas de vingt pays en développement ayant une valeur ajoutée dans l'industrie manufacturière comprise entre 200 millions et 22 milliards de dollars. Le chiffre fait ressortir l'impact de la crise économique sur l'Amérique latine dans le cas du Brésil et de l'Argentine, où le niveau de la consommation de machines-outils ne correspond pas au niveau de développement des industries mécaniques de ces pays. On pourrait estimer que le marché national du Brésil "devrait être" proche du milliard de dollars (au lieu de 590 millions) et qu'en Argentine il devrait être de 200 millions de dollars EU (au lieu de 36). Par contre, tandis que la consommation de machines-outils de la République populaire de Chine correspond à son développement, le marché intérieur de la Corée, qui était le sixième producteur en 1988, est extrêmement vaste : la nécessité d'automatiser accélère l'investissement dans la machine-outil.

3. Le marché international de la machine-outil

En 1968, un tiers de la production mondiale de machines-outils faisait l'objet d'échanges internationaux, et en 1988 le taux atteignait 48%. Les exportations ont mondialisé l'industrie de la machine-outil, et le succès dans le cadre de ce commerce mondial exige maintenant l'emploi de techniques efficaces d'exportation. La mondialisation a été accélérée par la réduction

^{66/} A l'exclusion de la valeur ajoutée dans le domaine des machines électriques en raison de la distorsion introduite par l'industrie électronique, qui est hautement développée en Asie du Sud-Est et ne représente pas un important marché pour les machines-outils, et signalée par l'ONUDI dans le rapport de 1988/89 sur l'Industrie et le développement dans le monde.

Figure 17 : Le marché de la machine-outil et le développement des industries mécaniques (1988)



des obstacles au commerce, l'accroissement de la spécialisation, car aucun pays ne peut réaliser l'autosuffisance dans une industrie aussi diversifiée, et les efforts des producteurs nationaux en vue de remédier à la nature cyclique de l'industrie et de trouver de nouveaux marchés.

3.1. Caractéristiques du commerce

3.1.1. Principaux pays importateurs et exportateurs

Les dix principaux pays importateurs et exportateurs ont été classés en fonction de leurs performances moyennes à l'exportation et à l'importation au cours des trois années considérées (1987-1988-1989) au tableau 15.

Tableau 15 : Les dix principaux pays exportateurs et dix principaux pays importateurs (moyenne 1987-1989)

pays exportateurs		pays importateurs	
millions de dollars, moyenne (1987-1989)			
Allemagne (RFA)	4019	Etats-Unis	2157
Japon	3359	URSS	1924
Suisse	1553	RFA	1306
Italie	1298	France	935
ex-RDA	1256	Italie	706
Etats-Unis	766	Royaume-Uni	700
Royaume-Uni	605	Canada	646
Taiwan (Chine)	517	République de Corée	618
France	383	Rép. pop. de Chine	531
Yougoslavie	370	Belgique	395

Tableau 16 : Exportations de machines-outils 1978-1989
(millions de dollars)

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Japon	1017	1263	1522	1692	1272	1263	1751	2186	3063	3053	3258	3765
Allemagne (RFA)	2122	2508	2965	2584	2206	1950	1781	1970	2993	3654	4069	4333
URSS	332	324	302	242	238	245	294	210	288	312	380	380
Etats-Unis	560	649	785	972	573	406	409	452	590	586	768	945
Italie	596	689	848	795	640	593	558	707	971	1048	1309	1537
Suisse	653	790	870	740	714	671	672	836	1259	1435	1626	1598
Royaume-Uni	426	473	675	537	478	319	302	341	395	501	687	627
RDA	548	662	695	674	653	770	744	759	980	1202	1298	1269
France	382	458	516	390	295	295	250	208	308	284	396	470
Chine (Taiwan)	94	144	178	183	124	132	172	202	261	380	504	667
Corée (Rép. pop.)	20	28	28	30	25	35	38	4	8	93	130	190
Espagne	148	211	229	207	165	99	114	151	178	219	260	325
Rép. de Corée	5	15	26	32	61	36	22	23	27	37	57	76
Roumanie	88	136	145	133	144	114	60	55	52	132	168	188
Yougoslavie	42	54	83	55	136	134	126	143	219	303	403	405
Brésil	20	28	71	74	21	24	20	28	39	23	29	24
Tchécoslovaquie	246	303	323	310	276	264	251	253	310	330	219	266
Suède	138	175	181	164	138	114	125	151	164	193	214	225
Canada	53	76	85	99	154	55	119	105	144	64	98	193
Pologne	163	190	220	170	53	64	78	71	69	98	119	120
Autriche	94	118	131	108	121	127	131	93	161	169	299	363
Inde	24	20	25	23	20	23	18	20	33	35	34	35
Belgique	99	111	206	119	116	96	104	133	263	294	287	372
Hongrie	84	94	94	96	96	97	111	138	138	170	94	96
Bulgarie	15	21	22	201	207	165	140	80	86	85	157	138
Danemark	24	26	39	32	44	37	21	42	52	58	65	62
Pays-Bas	35	71	93	74	66	105	82	98	121	179	147	156
Singapour	19	24	38	27	22	46	78	84	84	85	30	36
Finlande						21	17	23	18	29	40	40
Argentine	12	12	28	19	16	14	2	0	0	16	32	30
Mexique	1	1	4	4	2	2	2	1	3	3	11	10
Portugal	4	5	6	4	3	5	5	7	7	9	10	10
Australie	1	1	1	7	5	4	4	7	4	5	7	8
Hong-kong					4	1	1	1	6	6	0	0
TOTAL	8069	9685	11439	10836	9115	8386	8584	9676	13393	15207	17205	18959

Source: American Machinist

Tableau 17 : Importations de machines-outils 1978-1989
(millions de dollars)

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Japon	120	164	229	216	220	171	139	220	285	265	382	481
Allemagne (RFA)	462	621	802	616	488	453	467	636	1036	1253	1266	1399
URSS	803	881	988	952	1162	1448	1291	1387	1514	1850	1923	2000
Etats-Unis	715	1049	1298	1437	1153	946	1356	1738	2252	1969	2058	2445
Italie	194	256	380	300	208	182	183	196	347	566	707	845
Suisse	124	154	225	189	157	116	130	170	313	360	383	440
Royaume-Uni	399	600	623	432	409	294	342	614	559	530	732	837
RDA	218	244	257	214	170	111	113	96	157	199	285	299
France	289	371	554	566	479	351	301	358	618	738	971	1097
Chine (Taiwan)	58	92	125	99	80	110	119	76	85	215	338	374
Chine (Rép. pop.)	65	60	140	125	130	150	140	223	123	494	570	530
Espagne	90	91	103	142	176	96	56	59	106	251	312	349
Rép. de Corée	156	398	344	324	97	145	135	229	358	486	609	760
Roumanie	339	374	317	311	197	125	80	75	71	134	123	115
Yougoslavie	150	193	187	131	140	138	125	69	143	145	154	154
Brésil	226	132	175	124	85	44	40	39	48	49	40	35
Tchécoslovaquie	170	201	213	168	127	82	74	67	81	85	190	170
Suède	109	127	185	191	151	120	128	174	229	312	340	310
Canada	228	260	433	557	256	186	256	334	356	528	732	677
Pologne	596	498	350	200	120	55	99	86	84	203	233	250
Autriche	150	193	187	131	140	138	125	69	151	173	454	529
Inde	49	46	76	104	151	148	141	162	166	147	145	145
Belgique	113	127	206	139	117	115	127	166	282	321	453	412
Bulgarie	25	23	24	268	262	205	160	145	156	336	123	93
Hongrie	113	127	139	127	122	115	93	91	95	124	61	60
Danemark	40	43	51	28	43	40	14	75	114	111	109	99
Pays-Bas	91	129	160	111	94	122	106	192	326	361	247	251
Singapour	47	84	103	114	107	113	172	143	145	145	40	30
Finlande						90	62	70	93	115	111	110
Argentine	60	75	95	70	47	23	33	0	0	38	44	33
Mexique	75	85	310	450	320	110	140	145	202	249	177	203
Portugal	15	39	40	54	50	23	20	23	28	33	34	35
Australie	107	155	155	195	163	113	48	108	134	137	84	70
Hong-kong				4	11	2	5	52	74	75	12	9
SOUS-TOTAL	6396	7892	9474	9089	7632	6680	6820	8288	10731	12997	14442	15646
DIVERS	1643	1717	1777	1271	1110	1606	1570	927	2496	2984		
TOTAL	8039	9609	11251	10360	8742	8286	8370	9215	13227	15981		

Source: American Machinist

- L'Allemagne (ex-RFA) est le principal pays exportateur et le Japon vient au second rang depuis 1978. La part des Etats-Unis dans le total des exportations a décliné, mais celle de l'Europe occidentale a connu un déclin plus sérieux encore. Les pays d'Europe orientale, qui procédaient surtout à des échanges réciproques de machines-outils, ont vu aussi leur part des exportations décliner; Taiwan, Province de Chine, est le huitième pays exportateur.
- Le principal marché d'importation est celui des Etats-Unis, suivi par l'URSS et l'Allemagne (ex-RFA). En contraste avec les autres pays producteurs, les importations du Japon sont demeurées modestes, de sorte que la part de ce pays dans le total des importations mondiales est également demeuré faible. La République de Corée et la République populaire de Chine se classent respectivement au huitième et au neuvième rangs parmi les principaux pays importateurs. Les tableaux 16 et 17 indiquent les exportations et importations de machines-outils des 35 principaux pays producteurs pour la période 1977-1989.

3.1.2. Echanges intracommunautaires et spécialisation du marché

L'industrie de la machine-outil est caractérisée par un degré élevé d'ouverture. Les ratios d'activité ^{67/} peuvent atteindre le chiffre de 300% dans des pays tels que le Canada ou la Suède, et dans d'autres pays industrialisés (comme l'Allemagne, l'Italie, le Royaume-Uni et la Suisse), sont compris entre 75 et 100%. Le Japon fait exception avec un ratio inférieur à 50% en raison du faible niveau de ses importations.

Dans certains pays d'Europe occidentale (Suisse, Suède et Allemagne), les exportations représentent de 60 à 90% de la production. La part des importations dans la consommation apparente est très élevée dans des pays producteurs tels que la Suisse et la Suède, où l'industrie est hautement spécialisée dans certains domaines de production. La part croissante des importations de la consommation intérieure des Etats-Unis d'Amérique contraste avec celle du Japon où la production intérieure couvre 93% de la consommation apparente.

L'évolution qui concerne l'orientation des exportations et la pénétration des importations montre dans certains cas que le succès en matière d'exportations est inséparable de la maîtrise du marché intérieur. Cette situation est particulièrement claire dans les cas des Etats-Unis d'Amérique et de la France, où l'augmentation du niveau de pénétration des importations semble avoir été de pair avec la perte des exportations. L'inverse peut toutefois être constaté en ce qui concerne le Japon, où la pénétration des importations a régressé fortement, parallèlement à l'accroissement des exportations.

^{67/} Le ratio d'activité est mesuré comme suit : importations + exportations / production.

La combinaison de l'orientation des exportations et de la pénétration des importations dans la plupart des grands pays producteurs donne à penser que l'industrie de la machine-outil est caractérisée par un degré élevé de spécialisation sur le marché. Le tableau 18 indique la spécialisation des exportations de certaines machines-outils à enlèvement de métal des pays ayant fourni des indications à la CECIMO en 1988 : un degré élevé de spécialisation est évident, comme l'indiquent les exemples suivants :

- dans le cas de l'Allemagne (ex-RFA) : les tours, les machines à rectifier et à polir et les centres d'usinage comptent pour 65% des exportations
- dans le cas du Japon : les tours (31%), les centres d'usinage (28%) et les machines à rectifier et à polir (12,4%) comptent au total pour 71%.

La pénétration des importations est la plus faible sur les marchés dans lesquels les producteurs nationaux se spécialisent.

Une autre façon de considérer cette spécialisation est de mesurer la part de ces pays sur certains marchés spécifiques (tableau 19) :

- deux pays, l'Allemagne (40%) et la Suisse (29,7%), comptent pour 70% des exportations de machines-outils de taille de pignons enregistrées par la CECIMO;
- deux pays, l'Allemagne et la Suisse, comptent pour 66% des exportations de machines-outils électrochimiques et de machines à électro-érosion enregistrées par la CECIMO.

Il existe aussi un degré non négligeable d'échanges intra-industriels, spécialement en ce qui concerne les systèmes de commande et certains composants mécaniques de machines-outils tels que les bâtis.

3.1.3. Compétitivité dans les échanges commerciaux

A elle seule, l'analyse des exportations et importations ne révèle pas le niveau de compétitivité d'un pays ou groupe de pays. Le classement d'un pays sur un marché donné est fondé sur le solde des exportations et des importations en comparaison du commerce mondial du produit. Par exemple, dans le cas de l'Amérique du Nord, les exportations de machines-outils ont augmenté de 1978 à 1989, mais le développement du commerce mondial a été bien supérieur, de sorte que la part de l'Amérique du Nord dans le commerce mondial est tombée de 3,8 à 3%. Le solde commercial de l'Amérique du Nord s'est aggravé, de 2% à 5% du commerce mondial au cours de la même période.

Tableau 18 : Spécialisation des exportations de certaines machines-outils fonctionnant par enlèvement de métal (1988)

	Autriche	France	Allemagne (RFA)	Etats- Unis	Royaume- Uni	Italie	Espagne	Suède	Suisse	Japon	Inde	Corée*	Chine (Taiwan)
Perceuses	1%	2%	2%	2%	3%	8%	4%	9%	3%	4%	1%	1%	17%
Fraiseuses	21%	18%	13%	6%	11%	14%	44%	5%	12%	4%	11%	4%	14%
Etaux-limeurs, fraiseuses, scies	6%	5%	5%	4%	3%	8%	2%	2%	1%	4%	1%	0%	6%
Tours	43%	24%	24%	13%	33%	16%	19%	15%	16%	31%	36%	65%	26%
Machines à rectifier et à polir	11%	13%	22%	29%	17%	17%	12%	51%	25%	12%	28%	2%	15%
Aléseuses	1%	2%	5%	5%	6%	7%	4%	2%	3%	3%	0%	1%	1%
Machines d'électro-érosion et électrochimiques	4%	13%	4%	2%	6%	7%	3%	3%	24%	11%	16%	1%	6%
Taille d'engrenages	0%	0%	5%	8%	1%	2%	0%	0%	7%	1%	7%	0%	0%
Centres d'usinage et machines transferts	10%	18%	19%	10%	16%	12%	7%	6%	10%	28%	0%	15%	13%
Total pour l'enlèvement de métal	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Total pour l'enlèvement de métal (millions de dollars)	183	255	2628	444	535	784	192	124	1310	2453	23	51	423

Tableau 19 : Part des marchés à l'exportation de certaines machines-outils fonctionnant par enlèvement de métal (1988)

	Autriche	France	Allemagne (RFA)	Etats- Unis	Royaume- Uni	Italie	Espagne	Suède	Suisse	Japon	Inde	Corée*	Chine (Taiwan)	Total	millions de dollars
Perceuses	1%	2%	14%	3%	5%	17%	2%	3%	10%	25%	0%	0%	19%	100%	374
Fraiseuses	4%	4%	33%	3%	6%	11%	8%	1%	15%	9%	0%	0%	6%	100%	1011
Etaux-limeurs, fraiseuses, scies	3%	4%	35%	4%	4%	15%	1%	1%	2%	25%	0%	0%	6%	100%	397
Tours	3%	3%	27%	3%	8%	6%	2%	1%	9%	33%	0%	1%	5%	100%	2307
Machines à rectifier et à polir	1%	2%	32%	7%	5%	8%	1%	4%	18%	17%	0%	5%	4%	100%	1756
Aléseuses	1%	2%	35%	6%	8%	15%	2%	1%	10%	19%	0%	0%	1%	100%	356
Machines d'électro-érosion et électrochimiques	1%	4%	13%	1%	4%	6%	1%	0%	36%	31%	0%	3%	3%	100%	882
Taille d'engrenages	0%	0%	40%	11%	1%	5%	0%	0%	30%	12%	1%	2%	0%	100%	300
Centres d'usinage et machines transferts	1%	3%	30%	3%	5%	6%	1%	0%	7%	40%	0%	0%	3%	100%	1708
Total pour l'enlèvement de métal	2%	3%	28%	5%	6%	8%	2%	1%	14%	26%	0%	0%	4%	100%	9404
Machines à enlèvement de métal à CN	2%	3%	31%	2%	5%	4%	2%	1%	10%	37%	0%	5%	2%	100%	5176

Source : Compilation de statistiques de la CECIMO.

* Concerne la République de Corée.

Tableau 20 : Mesure de la compétitivité commerciale dans le cas de l'Amérique du Nord

	1978	1989
Exportations (1)	613	1138
Importations (2)	943	3122
Commerce mondial (3)*	16128	37902

En pourcentages

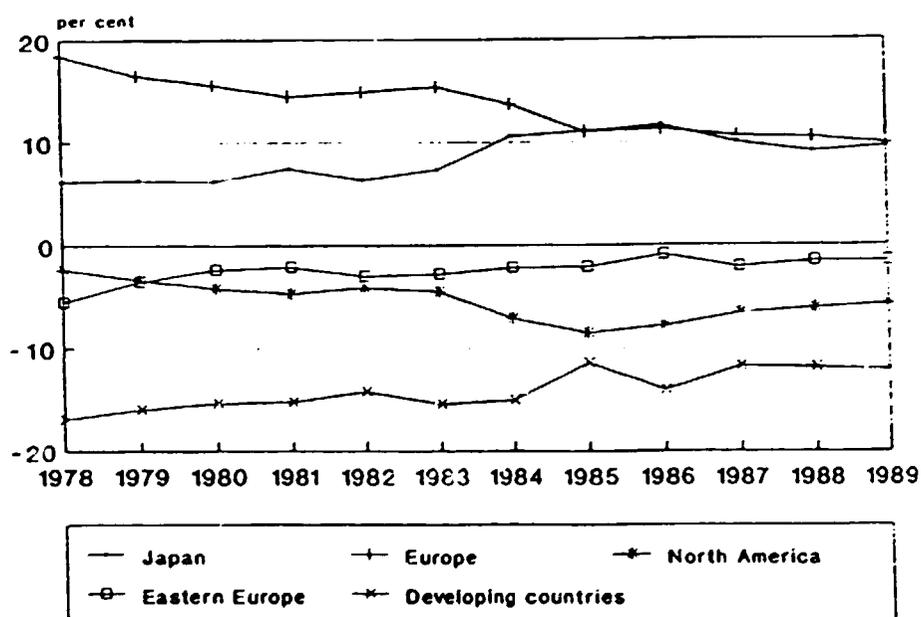
Part des exportations (1)/(3)	3,8%	3,0%
Part des importations (2)/(3)	5,8%	8,2%
Solde	-2,0%	-5,2%

* Compte tenu des importations de pays pris en compte par American Machinist.

Méthodologie élaborée par le Centre d'études prospectives et d'informations internationales.

Figure 18 : Compétitivité internationale

Principales régions
Balance commerciale en pourcentage du commerce mondial



La figure 18 indique l'évolution de la balance commerciale pour l'Amérique du Nord, l'Europe occidentale, l'Europe orientale (y compris l'Union soviétique), le Japon et les pays en développement de 1978 à 1989. Elle illustre l'érosion de la compétitivité commerciale des pays d'Europe occidentale et d'Amérique du Nord et l'amélioration de celle du Japon au cours de la même période. La compétitivité de l'Europe occidentale s'explique en grande partie par les performances de l'Allemagne (ex-RFA), de la Suisse et de l'Italie. Les pays d'Europe orientale n'étaient pas intégrés dans le marché international en raison de leur stratégie de développement et du fait que les règles du COCOM 68/ ne permettaient pas l'exportation de certaines machines-outils à commande numérique considérées comme ayant des applications militaires potentielles.

3.1.4. L'avantage comparatif des pays en développement 69/

L'avantage comparatif pour un pays donné peut être déduit en utilisant les trois critères suivants :

- la balance commerciale de l'industrie nationale;
- le pourcentage de production exporté - qui démontre la compétitivité internationale même si l'industrie est importatrice nette; et
- la part de l'industrie nationale sur le marché intérieur - qui indique le degré d'autosuffisance. Ce critère, associé au premier, indique si cette autosuffisance se traduit en compétitivité internationale.

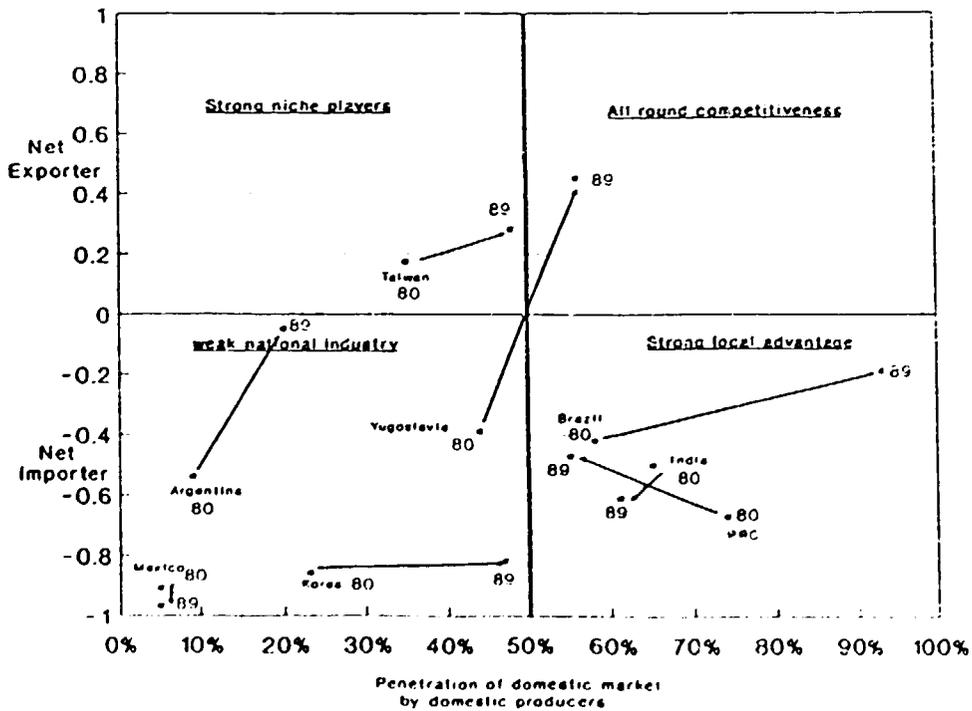
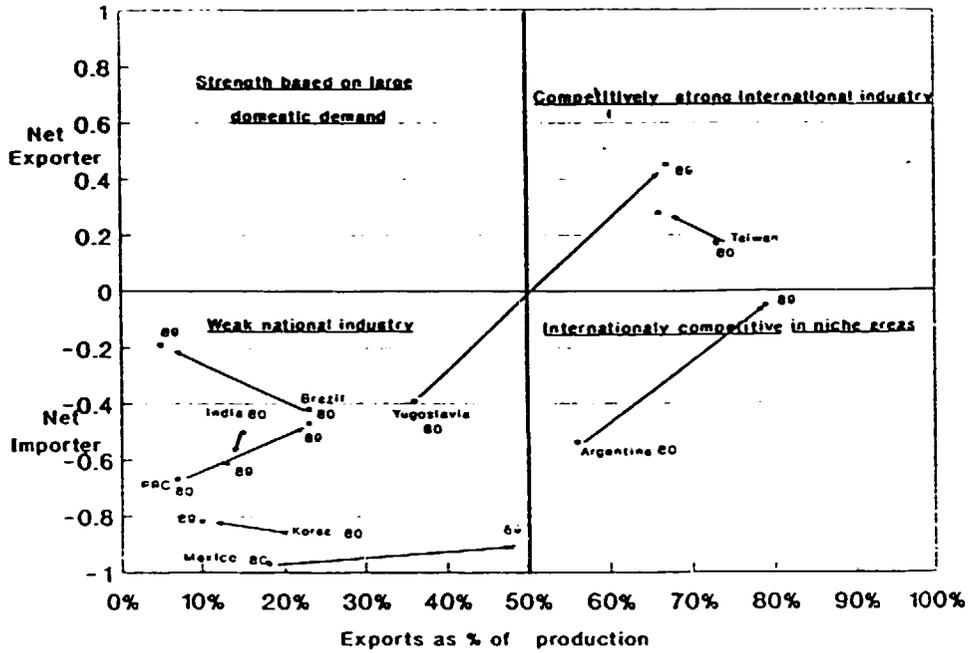
La figure 19 classe les principaux pays producteurs en développement selon ces trois critères en 1980 et 1989. Cinq catégories de pays peuvent être identifiées :

- i) La Yougoslavie, un pays exportateur net, dont la production a réalisé un degré élevé de pénétration sur le marché intérieur, est en 1989 le seul pays en développement concurrentiel à tous égards.
- ii) Taïwan, Province de Chine, est également un pays exportateur net, mais il est caractérisé par un degré moins élevé de pénétration sur le marché intérieur (qui s'est cependant accru de 1980 à 1989) : la demande intérieure croissante a encouragé les importations, mais l'industrie locale a concentré son activité sur les exportations des produits volumineux, et se spécialise délibérément dans certains domaines spécifiques (machines à rectifier classiques petites et moyennes, centres d'usinage tours et machines à percer).
- iii) Trois des pays en développement inclus dans l'analyse sont importateurs nets, mais avec un degré élevé de pénétration sur le marché intérieur : le Brésil, l'Inde et la République populaire de Chine.

68/ Coordinating Committee for Multilateral Export Control.

69/ La méthodologie employée est dérivée de celle élaborée par WS Atkins dans Strategic study of the EC machine-tool industry.

Figure 19 : Avantage comparatif des pays en développement
Evolution entre 1980 et 1989



Les pays qui sont importateurs nets ou qui ont un faible degré de pénétration sur le marché intérieur peuvent être encore classés selon leur ratio d'exportation :

iv) Le ratio d'exportation de l'Argentine a augmenté d'une façon significative, ce qui peut indiquer que cette industrie, dont les débouchés domestiques sont restreints, est compétitive sur le plan international dans un certain nombre de productions spécialisées.

v) Le Mexique et la République de Corée sont caractérisés par un faible ratio d'exportation (en diminution dans la République de Corée) et peuvent ainsi être identifiés comme des industries nationales faibles.

Cependant en République de Corée, l'industrie nationale satisfait à la moitié environ de ses besoins en machines-outils en dépit d'un accroissement très rapide du marché intérieur, et se rapproche de la catégorie des pays ayant de forts avantages locaux.

3.2. Importations des pays en développement

Les pays industrialisés représentent le plus important marché d'importations de machines-outils : en 1980 (tableau 21) et en 1987 (tableau 22), 80% de leurs exportations étaient destinées à d'autres pays industrialisés (y compris l'Europe orientale) tandis que 20% étaient acheminés vers des pays en développement 10/. Le commerce de machines-outils s'effectue souvent sur un plan régional : les pays d'Europe orientale ont acheminé 83% de leurs exportations vers d'autres pays d'Europe orientale; les pays d'Europe occidentale ont dirigé 57% de leurs exportations vers l'Europe occidentale et 10% vers l'Europe orientale 11/.

Les exportations vers les pays en développement jouent un rôle très significatif dans le cas de l'Amérique du Nord (34% en 1980, 39% en 1987) et de plus en plus dans celui du Japon (de 29 à 34,5%). La proportion des exportations de machines-outils d'Europe occidentale vers les pays en développement est tombée de 18 à 16%, et la même évolution est survenue dans le cas de l'Europe orientale (de 7,4 à 7%).

10/ Les données d'exportation sont compilées à partir de documents de la Commission économique pour l'Europe et, contrairement aux statistiques d'exportation d'American Machines, prennent en considération les exportations de pièces de machines-outils (CTCI 736).

11/ Il existe des liens étroits entre les constructeurs allemands de machines-outils et plusieurs entreprises de construction de machines-outils d'Europe orientale, qui prennent la forme d'arrangements de sous-traitance.

Tableau 21 : Direction des échanges en 1980
(millions de dollars)

en provenance de :	AMERIQUE DU NORD	JAPON	EUROPE OCCIDENTALE	EUROPE ORIENTALE	TOTAL
vers :					
AMERIQUE DU NORD	379,40	586,40	885,50	32,10	1883,40
EUROPE OCCIDENTALE	372,90	354,50	3904,70	212,70	4844,80
JAPON	81,80	0	142,90	10,20	234,90
OCEANIE	22,20	40,50	114,50	4,90	182,10
EUROPE ORIENTALE	39,90	89	1036,40	1221,60	2386,90
<u>PAYS EN DEVELOPPEMENT</u>	<u>482,90</u>	<u>457,30</u>	<u>1451,90</u>	<u>123,30</u>	<u>2515,40</u>
AFRIQUE	7,90	15,70	253,40	20,10	297,10
AMERIQUE LATINE	322,60	50,70	594	33,30	1000,60
ASIE EN DEVELOPPEMENT	106,30	369,80	432,40	44,30	952,80
MOYEN-ORIENT	46,10	21,10	172,10	25,60	264,90
TOTAL	1397,30	1568	7903,80	1668,90	12538

Répartition des exportations de pays industrialisés

vers/de -	AMERIQUE DU NORD	JAPON	EUROPE OCCIDENTALE	EUROPE ORIENTALE	TOTAL
AMERIQUE DU NORD	27,2%	37,4%	11,2%	1,9%	15,0%
EUROPE OCCIDENTALE	26,7%	22,6%	49,4%	12,7%	38,6%
JAPON	5,9%	0%	1,8%	0,6%	1,9%
OCEANIE	1,6%	2,6%	1,4%	0,3%	1,5%
EUROPE ORIENTALE	2,9%	5,7%	13,1%	73,2%	19,0%
<u>PAYS EN DEVELOPPEMENT</u>	<u>34,6%</u>	<u>29,2%</u>	<u>18,4%</u>	<u>7,4%</u>	<u>20,1%</u>
AFRIQUE	0,6%	1,0%	3,2%	1,2%	2,4%
AMERIQUE LATINE	23,1%	3,2%	7,5%	2,0%	8,0%
ASIE EN DEVELOPPEMENT	7,6%	23,6%	5,5%	2,7%	7,6%
MOYEN-ORIENT	3,3%	1,3%	2,2%	1,5%	2,1%
	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Origine des importations de pays industrialisés

vers/de -	AMERIQUE DU NORD	JAPON	EUROPE OCCIDENTALE	EUROPE ORIENTALE	TOTAL
AMERIQUE DU NORD	20,1%	31,1%	47,0%	1,7%	100,0%
EUROPE OCCIDENTALE	7,7%	7,3%	80,6%	4,4%	100,0%
JAPON	34,8%	0,0%	60,8%	4,3%	100,0%
OCEANIE	12,2%	22,2%	62,9%	2,7%	100,0%
EUROPE ORIENTALE	1,7%	3,7%	43,4%	51,2%	100,0%
<u>PAYS EN DEVELOPPEMENT</u>	<u>19,2%</u>	<u>18,2%</u>	<u>57,7%</u>	<u>4,9%</u>	<u>100,0%</u>
AFRIQUE	2,7%	5,3%	85,3%	6,8%	100,0%
AMERIQUE LATINE	32,2%	5,1%	59,4%	3,3%	100,0%
ASIE EN DEVELOPPEMENT	11,2%	38,8%	45,4%	4,6%	100,0%
MOYEN-ORIENT	17,4%	8,0%	65,0%	9,7%	100,0%
TOTAL	11,1%	12,5%	63,0%	13,3%	100,0%

Tableau 22 : Direction des échanges en 1987
(millions de dollars)

en provenance de :	AMERIQUE DU NORD	JAPON	EUROPE OCCIDENTALE	EUROPE ORIENTALE	TOTAL
vers :					
AMERIQUE DU NORD	336	1269	1203	14	2822
EUROPE OCCIDENTALE	328	729	5681	265	7003
JAPON	89	0	171	17	277
OCEANIE	28	58	102	2	189
EUROPE ORIENTALE	17	97	1081	2468	3664
<u>PAYS EN DEVELOPPEMENT</u>	<u>517</u>	<u>1137</u>	<u>1592</u>	<u>207</u>	<u>3453</u>
AFRIQUE*	6	10	216	35	267
AMERIQUE LATINE	242	50	303	51	646
ASIE EN DEVELOPPEMENT	251	1047	772	86	2157
MOYEN-ORIENT	17	30	301	35	384
TOTAL	1320	3299	9883	2971	17474

Répartition des exportations de pays industrialisés

de/vers -	AMERIQUE DU NORD	JAPON	EUROPE OCCIDENTALE	EUROPE ORIENTALE	TOTAL
AMERIQUE DU NORD	25,4%	38,5%	12,2%	0,5%	16,1%
EUROPE OCCIDENTALE	24,9%	22,1%	57,5%	8,9%	40,1%
JAPON	6,7%	0,0%	1,7%	0,6%	1,6%
OCEANIE	2,1%	1,7%	1,0%	0,1%	1,1%
EUROPE ORIENTALE	1,3%	3,0%	10,9%	83,0%	21,0%
<u>PAYS EN DEVELOPPEMENT</u>	<u>39,1%</u>	<u>34,5%</u>	<u>16,1%</u>	<u>7,0%</u>	<u>19,8%</u>
AFRIQUE	0,5%	0,3%	2,2%	1,2%	1,5%
AMERIQUE LATINE	18,4%	1,5%	3,1%	1,7%	3,7%
ASIE EN DEVELOPPEMENT	19,0%	31,7%	7,8%	2,9%	12,3%
MOYEN-ORIENT	1,3%	0,9%	3,0%	1,2%	2,2%
	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Origine des importations de pays industrialisés

vers/de -	AMERIQUE DU NORD	JAPON	EUROPE OCCIDENTALE	EUROPE ORIENTALE	TOTAL
AMERIQUE DU NORD	11,9%	45,0%	42,6%	0,5%	100,0%
EUROPE OCCIDENTALE	4,7%	10,4%	81,1%	3,8%	100,0%
JAPON	32,2%	0,0%	61,8%	6,0%	100,0%
OCEANIE	14,6%	30,5%	53,9%	1,0%	100,0%
EUROPE ORIENTALE	0,5%	2,7%	29,5%	67,4%	100,0%
<u>PAYS EN DEVELOPPEMENT</u>	<u>15,0%</u>	<u>32,9%</u>	<u>46,1%</u>	<u>6,0%</u>	<u>100,0%</u>
AFRIQUE	2,3%	3,6%	81,1%	13,0%	100,0%
AMERIQUE LATINE	37,5%	7,8%	46,9%	7,8%	100,0%
ASIE EN DEVELOPPEMENT	11,6%	48,6%	35,8%	4,0%	100,0%
MOYEN-ORIENT	4,5%	7,8%	78,5%	9,2%	100,0%
TOTAL	7,6%	18,9%	56,6%	17,0%	100,0%

Compilation de données tirées du Bulletin of Statistics on World Trade in Engineering Products for 1987, publié par la Commission économique pour l'Europe (1989).

* à l'exclusion de l'Afrique du Sud.

Les statistiques des importations de machines-outils de 73 pays en développement entre 1980 et 1987 12/ montrent que (tableau 23 et figure 20) la valeur moyenne des importations de machines-outils au cours de la période 1980-87 a été :

- inférieure à 1 million de dollars pour 11 pays en développement
- comprise entre 1 million et 10 millions de dollars pour 32 pays en développement
- comprise entre 10 millions et 100 millions de dollars pour 24 pays en développement
- seuls 7 pays en développement 13/ ont importé (et consommé) plus de 100 millions de dollars de machines-outils.

Pour la plupart des pays en développement, les importations de machines-outils représentent moins d'un % du total des importations de produits des industries mécaniques, et ne peuvent guère être considérées comme représentant une contrainte.

Tandis que la part globale des pays en développement dans les exportations des pays industrialisés est demeurée constante en 1980 et 1987, une modification sensible est survenue entre les régions. La part de l'Afrique est tombée de 2,4 à 1,5% et les importations des pays d'Amérique latine ont été fortement affectées : elles représentaient 8% des exportations de pays industrialisés en 1980 et 3,7% en 1987. Par contre, la part de l'Asie en développement est passée de 7,6 à 12,3%, et représentait en 1987 60% des importations de pays en développement. L'Europe occidentale est demeurée le plus important fournisseur de machines-outils aux pays en développement 14/, le Japon venant en seconde place en 1987. Alors que les importations des pays asiatiques en développement sont relativement diversifiées, tel n'est pas habituellement le cas des pays d'Afrique et du Moyen-Orient qui importent surtout d'Europe ou des pays d'Amérique latine qui importent des Etats-Unis et de l'Europe.

12/ Ces données diffèrent de celles publiées dans American Machinist : i) les statistiques des Nations Unies prennent en considération les importations de pièces détachées, et ii) ne prennent pas en compte les importations par les pays en développement de machines-outils provenant d'autres pays en développement.

13/ Y compris Taiwan, Province de Chine, qui n'est pas incluse dans les statistiques des Nations Unies.

14/ Les statistiques de la CEE ne prennent pas en considération les exportations de pays en développement vers d'autres pays en développement; cependant, ce commerce entre pays du Sud demeure extrêmement limité en quantité.

Tableau 23 : Importations de machines-outils de pays en développement 1980-1988
(millions de dollars)

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
AFRIQUE **	281	308	306	246	236	277	345	269	182
Algérie	61	62	73	52	64	84	82	63	44
Angola	3	4	1	1	2	5	3	5	1
Burundi	0	1	1	0	1	1	1	1	1
UDEAC	5	6	8	7	6	5	7	5	4
Afrique de l'Est	19	12	9	11	9	8	10	12	8
Egypte	52	48	51	57	63	64	56	47	29
Ethiopie	1	2	2	3	2	2	9	13	6
Ghana	4	3	7	1	1	2	3	3	2
Guinée	1	1	1	0	1	1	1	1	1
Libéria	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Libye	15	31	18	26	22	20	36	21	25
Madagascar	3	2	2	2	1	1	1	1	0
Malawi	1	0	0	0	0	1	1	0	0
Maroc	10	13	15	15	9	12	12	13	13
Mozambique	2	2	2	1	1	1	4	7	1
Nigéria	48	74	69	29	16	45	72	33	6
Soudan	4	5	5	3	2	2	3	3	2
Togo	1	1	0	0	0	0	1	1	1
Tunisie	17	15	16	15	19	11	18	13	14
Zaire	4	2	4	2	4	3	4	5	4
Zambie	7	5	2	2	2	1	2	3	3
Zimbabwe	1	4	4	3	1	2	7	4	8
Autres pays africains	20	14	15	14	11	9	14	17	10
AMERIQUE LATINE	1003	1017	816	506	416	442	556	664	345
Argentine	113	87	52	28	38	30	32	42	39
Bolivie	5	4	1	0	1	1	2	2	0
Brésil	257	171	122	71	48	78	120	203	104
Chili	19	18	12	5	9	8	12	19	8
Colombie	35	26	25	15	15	14	18	23	12
Costa Rica	3	2	1	2	3	3	3	3	1
Cuba	18	12	19	49	23	22	55	37	20
République Dominicaine	5	4	3	2	3	4	7	3	4
Equateur	9	11	8	4	5	5	10	9	5
El Salvador	1	1	1	1	1	1	2	2	1
Guatemala	3	2	2	1	3	2	2	3	2
Haiti	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Honduras	2	2	1	1	2	2	1	2	1
Mexique	405	562	450	273	204	205	225	213	66
Nicaragua	0	1	3	3	10	5	1	1	0
Panama	2	2	3	2	2	2	2	2	1
Paraguay	1	2	0	0	0	0	0	1	4
Pérou	17	17	18	8	6	10	8	13	4
Surinam	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Uruguay	5	3	2	0	0	1	1	2	1
Venezuela	88	72	73	27	34	44	48	76	65
Antilles	11	11	15	8	6	4	5	5	3
Autres pays d'Amérique latine	5	7	4	3	3	2	3	4	4

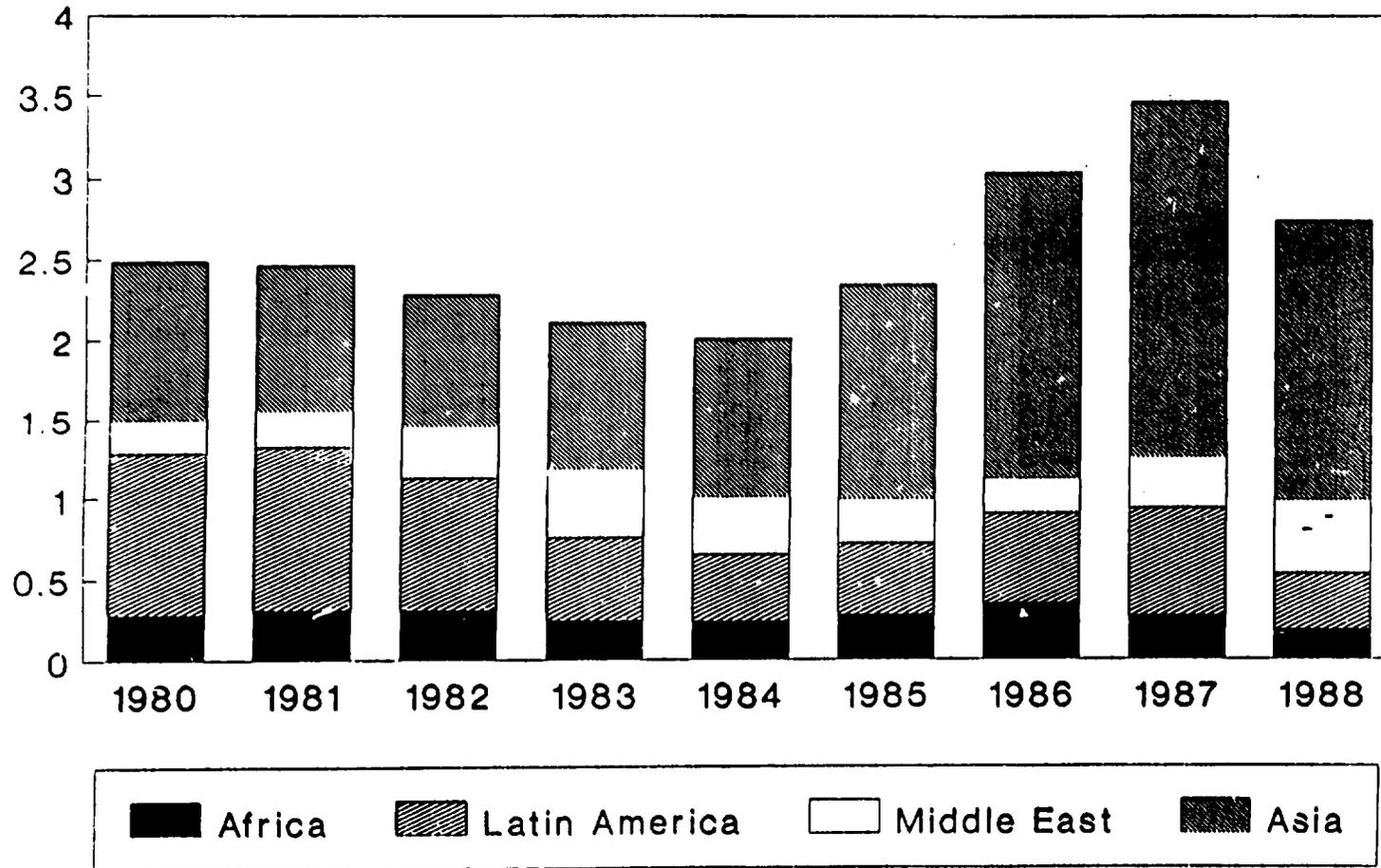
MOYEN-ORIENT	216	233	336	427	355	273	219	321	455
Bahreïn	3	2	2	3	7	8	1	1	1
Iran	23	27	51	156	158	138	98	209	203
Iraq	58	64	137	120	58	33	27	50	201
Jordanie	8	10	9	8	5	7	6	8	4
Kuweït	9	8	11	10	8	10	7	4	3
Liban	13	8	6	7	5	1	3	1	4
Arabie saoudite	57	85	81	96	76	45	45	33	28
Syrie	27	11	15	10	20	13	9	5	2
Autres pays	19	19	23	18	18	18	22	10	10
ASIE EN DEVELOPPEMENT	986	904	822	924	999	1342	1908	2210	1758
Afganistan	0	0	0	2	0	0	1	5	0
Bangladesh	6	5	4	4	2	4	4	5	2
Birmanie	13	4	5	5	5	11	4	2	5
Chine	143	95	65	93	124	397	751	532	313
Kampuchea démocratique	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Hong-kong	38	42	27	27	37	54	70	86	80
Inde	145	169	197	170	164	175	239	233	155
Indonésie	39	63	56	53	58	54	51	92	53
Corée (Rép. dém.)	37	14	15	32	15	9	7	16	10
Corée (Rép. de)	176	99	84	170	183	276	404	623	507
Laos	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Malaisie	48	53	49	56	81	60	32	57	41
Mongolie	1	0	0	2	0	0	10	10	0
Pakistan	14	15	24	26	23	32	28	26	28
Philippines	27	26	28	18	13	9	9	17	11
Singapour	97	117	115	84	102	89	93	151	135
Sri Lanka	2	5	2	2	3	4	4	6	4
Thaïlande	34	36	27	38	62	66	38	83	148
Vietnam	10	4	3	13	1	1	19	10	1
Autres	155	156	122	128	127	102	142	255	266

* Les données d'importation peuvent différer de celles d'American Machinist enregistrées dans les tableaux précédents, étant donné qu'elles ne prennent pas en considération les importations de pièces de machines-outils.

** A l'exclusion de l'Afrique du Sud.

Source : Compilation de divers numéros des Statistics on World Trade in Engineering Products (Nations Unies).

Figure 20 : Importations de machines-outils (et de pièces de machines-outils)
de pays en développement
(milliards de dollars)



Source: Compilation de statistiques de la CEE.

4. Investissements internationaux

Par contraste avec son orientation commerciale, l'internationalisation du capital dans l'industrie de la machine-outil a été limitée jusqu'ici et la plupart des investissements étrangers ont été faits dans des pays industrialisés. Parmi les raisons qui expliquent ces tendances d'investissements figurent la proximité du marché et les facteurs concernant l'entretien 75/. Cependant, l'industrie de la machine-outil évolue de plus en plus selon la tendance générale à la mondialisation de la production et de la recherche.

Les principales sociétés américaines ont investi en Europe depuis quelques années. CINCINATI MILACRON produit un cinquième du volume de ses ventes dans des usines situées en Autriche, en France, au Royaume-Uni et aux Pays-Bas. Parmi les autres sociétés américaines ayant des filiales allemandes, britanniques ou françaises, il faut citer LITTON, TEXTRON, TELEDYNE LANDIS et INGERSOLL 76/. Des entreprises européennes ont investi aux Etats-Unis, et une importante société allemande, TRUMPF, a récemment ouvert une usine dans le Connecticut.

La production d'outre-mer des fabricants japonais de machines-outils répond à une stratégie concurrentielle consécutive à leur effort en matière d'exportation 77/. Le Japon a accru sa présence aux Etats-Unis et en Europe ces trois dernières années pour répondre aux besoins des constructeurs automobiles japonais nouvellement installés : il ressort de données provenant du Japanese Economic Institute que le nombre de fabricants japonais de machines-outils installés aux Etats-Unis est passé de 17 à 36 entre 1987 et 1990 78/. Les Etats-Unis sont non seulement un important marché pour les biens d'investissement, mais également comme un lieu d'implantation à peu de frais pour la production de produits à haute valeur ajoutée, avec des coûts de main-d'oeuvre inférieurs à ceux de l'Allemagne et du Japon. Les entreprises japonaises aux Etats-Unis sont avantagées au niveau des coûts sur deux plans : elles achètent certains éléments critiques au Japon en volumes extrêmement importants pour leurs opérations mondiales et disposent aux Etats-Unis d'usines efficaces pourvues de matériels de pointe pour la fabrication de pièces détachées 79/. Les machines importées et les machines fabriquées par des filiales étrangères répondent probablement aux deux tiers de la consommation des Etats-Unis des années 1990.

75/ Pour pouvoir réparer une panne dans une société cliente à l'étranger, il faut disposer d'un personnel qualifié et d'importants stocks de pièces détachées.

76/ Qui a acheté WALDRICH COBERG et WALDRICH SIEGEN et BOEHLE en République fédérale d'Allemagne.

77/ En 1974, YAMAZAKI a établi des installations de montage aux Etats-Unis, puis ont suivi HITACHI SEIKI en 1980 et IKEGAI.

78/ International Herald Tribune: UN Machine tool makers look abroad, 1er février 1990.

79/ Interview du Président de Monarch Machine Tool, Asia Wall Street Journal, janvier 1990 23.

FANUC, qui possède des usines en Europe et aux Etats-Unis, a lancé une coentreprise avec General Electric pour produire en masse des dispositifs de commande numérique à 32 bits 80/. AMADA SOIKE a des filiales en France, en Australie et (par le truchement de SONOIKE), aux Etats-Unis. TOYODA est présent en France et aux Etats-Unis, YAMAZAKI MAZAK Corp. possède des usines de construction mécanique au Royaume-Uni et aux Etats-Unis 81/ et investit en France et à Singapour. OKUMA possède une filiale aux Etats-Unis. LEBLOND MAKINO serait la plus importante filiale de groupe japonais aux Etats-Unis.

L'investissement étranger dans les pays en développement a été limité à un petit nombre de cas en Amérique latine, en Inde et à Singapour. L'Allemagne (ex-RFA) a montré le voie en cherchant à créer des coentreprises en Amérique latine, région où, durant les années 70, 15 entreprises allemandes se sont installées. Dans un certain nombre de cas, des arrangements de sous-traitance ont été conclus entre le Japon et Taiwan, Province de Chine, les entreprises japonaises ayant complètement abandonné la fabrication de produits classiques.

Dans les années à venir, les fabricants japonais de machines-outils pourraient accroître le nombre de leurs investissements à l'étranger. Selon certaines projections, les entreprises japonaises pourraient délocaliser jusqu'à 50% de leur production de machines-outils. Des sommes importantes seront investies aux Etats-Unis et en Europe, mais cette tendance pourrait favoriser l'investissement dans certains pays en développement, particulièrement ceux d'Asie 82/.

Comme dans le cas de l'industrie électronique, il existe certains exemples d'"investissements directs étrangers inverses" 83/, concernant la reprise par une entreprise d'un pays en développement d'une entreprise d'un pays industrialisé. L'objectif est d'accéder rapidement à la technologie de la commande numérique.

5. Prévision des marchés mondiaux de la machine-outil

Selon une prévision récente 84/ l'industrie mondiale de la machine-outil devrait envisager une période prolongée d'expansion dynamique à un taux annuel de progression de 4% en termes réels dans le monde entier de 1988 à 1995. A la fin de cette période, les taux d'accroissement devraient décliner, sans qu'il y ait toutefois récession.

80/ Machinery and Mechanical Engineering, 18 janvier 1989.

81/ MAZAK agrandit ses installations au Kentucky avec la mise en place de trois nouveaux systèmes flexibles de fabrication qui produiront des pièces détachées sans aucune intervention humaine. Asia Wall Street Journal, 23 janvier 1990.

82/ HITACHI envisage de transférer sa production de moteurs de machines-outils du Japon en Thaïlande afin de réduire ses coûts. Hitachi Industrial Technology in Thailand a commencé à fabriquer en vue de l'exportation 200 000 moteurs monophasés par an. Asia Wall Street Journal, 31 mars 1990.

83/ O'Brien, Recent developments in the Machine Tool industry: the prospects for foreign direct investment with particular reference to Asian developing countries, ONUDI PPD.53 16 septembre 1987.

84/ Etude stratégique de l'industrie dans la Communauté européenne. La prévision, faite avant la crise du Golfe, n'envisageait pas l'éventualité d'une récession dans les principaux pays industrialisés.

L'accroissement de la demande pourrait surtout être marqué (tableau 24) au Japon et dans les pays en développement, tandis que les perspectives aux Etats-Unis d'Amérique, en URSS et en Europe orientale sont moins encourageantes. De fortes augmentations des importations auront lieu au Japon, dans les pays de la CEE et dans les pays en développement (5,2%).

Les perspectives de production apparaissent brillantes pour les producteurs de machines-outils des pays nouvellement industrialisés, du Japon et de la Zone européenne de libre-échange.

Tableau 24 : Prévision des marchés mondiaux des machines-outils pour 1988-1995

Demande intérieure mondiale

	Milliards d'ECU*	Taux annuel d'accroissement	
		1980-88	1988-95
Communauté européenne	7,70	2,10	5,20
AELE	1,57	5,10	4,90
CAEM	7,17	1,30	1,90
Etats-Unis	2,79	-2,40	4,40
Japon	4,22	7,90	5,80
Pays en développement	2,09	9,20	5,30

Importations mondiales

	Milliards d'ECU*	Taux annuel d'accroissement	
		1980-88	1988-95
Communauté européenne	1,82	6	6,70
AELE	1,05	6,80	4,10
CAEM	1,39	-1,90	3,70
Etats-Unis	1,46	6,80	6,10
Japon	0,32	6,10	11,40
Pays en développement	1,17	4,70	5,20

Exportations mondiales

	Milliards d'ECU*	Taux annuel d'accroissement	
		1980-88	1988-95
Communauté européenne	3,51	-0,60	4,30
AELE	1,49	7,20	5,50
CAEM	0,17	-3,40	6,10
Etats-Unis	0,63	-2,60	2,70
Japon	2,59	10,60	6,80
Pays nouvellement industrialisés	0,26	2,50	6,10
MONDE	8,65	3,50	4,90

Production mondiale

	Milliards d'ECU*	Taux annuel d'accroissement	
		1980-88	1988-95
Communauté européenne	3,39	0,50	4,50
AELE	2,01	4	5,10
CAEM	5,95	1,80	1,60
Etats-Unis	1,96	-6,40	2,50
Japon	6,49	9	5,30
Pays nouvellement industrialisés	1,18	2,50	5,50
MONDE	26,98	2,50	4

* Prix de 1985.

Source : Etude stratégique du secteur de la machine-outil de la Communauté européenne, Bruxelles, juin 1990.

CHAPITRE III : EVOLUTION TECHNOLOGIQUE

Parmi les nouvelles technologies, la microélectronique présente une importance centrale pour l'industrie de la machine-outil, mais l'impact des nouveaux matériaux commence aussi à se faire sentir. L'introduction au milieu des années 70 dans les ateliers du microprocesseur, circuit intégré complet programmable, a représenté la principale percée technologique dans l'industrie des biens d'équipement. Elle est survenue après une longue période de stabilité relative en ce qui concerne la technologie de production 1/. Les machines-outils sont "au coeur de la diffusion technologique"; les modifications qui les affectent doivent donc être considérées dans le contexte plus large des modifications du paradigme technologique.

Après une brève introduction au paradigme de la spécialisation flexible, le présent chapitre traitera essentiellement de la diffusion des machines-outils à commande numérique et des systèmes de fabrication flexibles 1/.

1. De la production de masse à la spécialisation flexible et à la production de masse flexible

La notion de paradigme 2/ englobe une nouvelle série de règles et pratiques améliorées, de nouvelles approches quant à la façon de lier la technologie aux problèmes du marché, et de nouvelles solutions aux problèmes établis. Certains auteurs examinent les répercussions de la diffusion de la microélectronique.

1.1. Un nouveau paradigme

Soulignant les limites de la production de masse - fragmentation du travail, utilisation de machines spécialisées, spécification complète des emplois et abandon de la commande manuelle - on prévoyait à la fin des années 70 que les perspectives quant aux moyens de remédier à ces limitations étaient liés à la spécialisation flexible 3/ : c'est-à-dire à l'équivalent moderne des

1/ CNUCED: The diffusion of electronics technology in the capital goods sector in the industrialized countries, Genève, 1985.

2/ Le concept de paradigme, utilisé par Kuhn, a été étendu à la technologie par Giovanni Dosi dans "Sources, procedures and micro-economic effects of innovation", Journal of Economic Literature, septembre 1988, vol XXVI numéro 3. Parmi les paradigmes technologiques qui ont précédé, il faut citer le moteur à combustion interne et la synthèse pétrochimique.

3/ Piore et Sabel: The second industrial divide: possibilities for prosperity, Basic Books, 1984 : "La première rupture au sein de l'industrie est survenue au XIXe siècle lorsque la pression des technologies de production de masse - initialement en Grande-Bretagne - puis aux Etats-Unis - a limité la croissance des technologies de fabrication moins rigides qui existaient principalement dans diverses régions d'Europe occidentale. Ces technologies de fabrication moins rigide étaient des systèmes artisanaux (...) dans lesquels des travailleurs qualifiés utilisaient des machines sophistiquées à destination générale pour produire un assortiment large et constamment modifié de produits pour des marchés vastes mais continuellement changeants" (p. 5).

organisations artisanales de production qui prédominaient au début du XIX^e siècle. La principale différence entre la production de masse et la production artisanale concerne la flexibilité des ressources productives. Les ressources productives artisanales, en travail comme en capital, sont capables de s'adapter à des usages très différents et donc peuvent admettre toute une gamme de variations des conditions économiques. Toutefois, en termes de dynamisme technologique, la différence tient au fait que la production artisanale, ou spécialisation flexible, engendre la croissance en "étalant" les ressources existantes de façon à pouvoir faire davantage de choses ou toute une variété de choses. La spécialisation flexible 4/ n'exige pas forcément de nouvelles technologies; cependant, des possibilités ouvertes par les technologies d'automatisation à base électronique "seront considérées rétrospectivement comme marquant un changement d'orientation dans l'histoire de la mécanisation". D'autres 5/ ont examiné la transition du précédent paradigme techno-économique, fondé sur le pétrole à bon marché, sur l'emploi de matériaux à forte intensité d'énergie, sur des processus à flux continus ou sur le recours à la chaîne de montage pour la production en masse de produits identiques au nouveau paradigme technico-économique fondé sur la microélectronique et les technologies d'information associées.

Ce paradigme technologique se caractérise surtout par une tendance à la "flexibilité" associée à l'"intensité d'information" (voir encadré 8). Depuis la révolution industrielle, la mécanisation plus poussée s'est accompagnée d'une exploitation accrue des économies d'échelle, et l'amélioration des rendements de production a été généralement associée aux principes d'organisation dits "tayloristes" et "fordistes" 6/, lesquels impliquent un degré très élevé de rigidité quant aux séries et variétés de produits acceptables. La maxime de Ford, "le client peut choisir n'importe quelle couleur pourvu qu'elle soit noire" signifie que la flexibilité était coûteuse en temps et en argent. Il n'était possible de faire face à l'incertitude croissante quant aux exigences de la clientèle qu'en raccourcissant les séries de production au prix d'un accroissement considérable des coûts. Le matériel automatisé devait être consacré à une tâche spécifique, et jusqu'aux années 70 il était possible soit de produire en masse des produits homogènes soit de construire des prototypes en recourant à des ouvriers hautement qualifiés utilisant des machines flexibles. On disait que l'automatisation était restreinte aux trois "A" : l'industrie aérospatiale, les armements et l'automobile (où sa meilleure illustration est la chaîne de transfert).

4/ On peut prendre comme exemple la flexibilité des industries du Prato en Italie.

5/ Voir Carlotta Perez, Microelectronics, long waves and world structural changes: new perspectives for developing countries, World Development vol 13 No 3 1985, et M. Humbert : Etude globale sur l'électronique mondiale, ONUDI; ID/WG.478/2, 1988.

6/ Le taylorisme désigne un type d'organisation du travail décrit par Fred W. Taylor, ingénieur consultant américain. Il consiste à séparer les activités de conception du travail de celles d'exécution sur machine. Tandis que le concept de taylorisme est étroitement lié à la gestion du personnel, le concept de fordisme met l'accent sur le marché et sur la stratégie de production associée au taylorisme : il vise l'organisation d'une production de masse standardisée de produits relativement homogènes.

Encadré 8 : Flexibilité

La flexibilité est le concept le plus capital dans le domaine de la machine-outil; elle est aujourd'hui devenue un élément indispensable de la technologie de fabrication sous l'effet d'un certain nombre de facteurs : l'intensification de la concurrence internationale, la demande de produits de meilleure qualité, répondant à des spécifications plus variées et livrés dans des délais plus brefs, et la diminution de la durée de vie des produits.

Le concept de flexibilité est imprécis et possède un certain nombre de dimensions qu'il est nécessaire de définir avec précision.

La flexibilité des machines : la facilité avec laquelle le réglage des machines du système peut être modifié en ce qui concerne les accessoires, le positionnement etc.;

La flexibilité des processus : l'aptitude à produire une série de pièces de types divers en utilisant différents matériaux de plusieurs façons;

La flexibilité de production : l'aptitude à passer rapidement et économiquement à la fabrication d'un nouveau produit;

La flexibilité d'acheminement : l'aptitude à réacheminer les pièces en fabrication en cas de défaillance de certains organes;

La flexibilité volumique : l'aptitude à fonctionner avec différents volumes de production;

La flexibilité d'expansion : l'aptitude à développer un système selon les besoins;

La flexibilité de fonctionnement : l'aptitude à intervertir l'ordre des opérations;

La flexibilité de production : la gamme des types de pièces qu'un système peut produire.

Sources : Commission économique pour l'Europe : Recent trends in flexible manufacturing, New York, 1986.

L'automatisation flexible permet un nouveau compromis entre la flexibilité et les économies d'échelle. Celles-ci résultent du fait que le coût de production unitaire décline à mesure qu'augmente le volume de la production, tandis que les économies de fonctions sont liées à la production massive d'une série de produits différenciés 7/ et résultent de la normalisation des processus visant à la fabrication de produits divers 8/. Les économies de fonctions traduisent l'aptitude à convertir les équipements fixes d'une utilisation à une autre 9/.

En comparaison de l'automatisation classique (électromécanique) et l'emploi de machines-outils à commande numérique, les systèmes de fabrication flexible et les robots assurent une flexibilité beaucoup plus grande en ce qui concerne i) la variation admise des rendements (c'est-à-dire des articles homogènes obtenus dans de bonnes conditions de coût/efficacité par unité de temps) ii) la diversité acceptable des catégories de produits et iii) l'échelle minimale de production 10/. Avec l'avènement de l'automatisation flexible, la dimension de l'usine tend à devenir plus indépendante de celle du marché.

Les modifications récentes des pratiques de fabrication, de la production de masse à la spécialisation flexible, sont très diversement interprétées. Les stratégies fondées sur les économies de fonctions ne peuvent l'emporter sur celles fondées sur les économies d'échelle que s'il n'existe plus de produits dont la demande est suffisamment croissante et stable 11/. Si tel n'est pas le cas, pour les produits dont la demande est croissante et stable, l'avantage de l'échelle de production ne disparaît pas. Comme on l'a montré dans le cas de l'Italie, où les petites entreprises sont maintenant concurrentielles sur des marchés dont l'accès leur était auparavant interdit du fait des économies d'échelle, les grandes usines qui appliquent le principe de la flexibilité sont aussi capables de satisfaire aux besoins de plusieurs marchés relativement petits 12/. Les nouvelles technologies, qui remplacent le travail

7/ J.D. Goldhar, M. Jelinek: Plan for economies of scope Harvard Business Review 61, novembre-décembre 1983, p. 141.

8/ Les économies de fonctions (Economies of scope, aussi désignées sous le nom d'effet Baumol) existent lorsqu'une entreprise qui produit simultanément deux articles peut les obtenir à un moindre coût que deux entreprises distinctes produisant séparément chacun de ces deux articles. Tel n'est pas le cas si les économies d'échelle obtenues dans la production de chacun des articles sont supérieures aux économies de fonctions.

9/ R.U. Ayres: Computer Integrated Manufacturing: Hypotheses. Allocation d'ouverture IIASA CIM Conference, Vienne, juillet 1990.

10/ Il faut tenir compte du fait que la flexibilité est une question d'organisation : des machines identiques peuvent être utilisées d'une façon soit rigide soit flexible.

11/ L'hypothèse implicite du modèle de spécialisation flexible est que la demande doit être à la fois instable et segmentée. Dans ce cas, les stratégies fondées sur la différenciation l'emporteront sur celles fondées sur les économies d'échelle. B. Coriat: L'atelier et le robot, Christian Bourges Editeur, Paris 1990, pp. 163-165.

12/ Dans sa nouvelle usine d'Osaka, Mitsubishi fabrique cinq modèles différents sur une même chaîne de production, ce qui représente un degré de flexibilité apparemment irréalisable ailleurs. (Financial Times World car industry, 13 septembre 1989).

humain par des investissements, suscitent de considérables économies d'échelle, et peuvent ainsi accroître le rôle des grandes entreprises 13/. Cette situation s'applique à l'industrie de la machine-outil. La fragmentation historique de l'industrie était relativement fonctionnelle tant que l'extension des chaînes de production ne laissait entrevoir que peu d'économies d'échelle ou de fonctions. En l'absence de conceptions modulaires et d'automatisation flexible, les économies au stade de la production résultaient de la fabrication de modèles standards ayant une grande durée de vie; cette stratégie 14/, qui jouait un effet dissuasif à l'égard des changements de production, est devenue de plus en plus dysfonctionnelle avec la diffusion de nouvelles technologies.

En fait, comme le souligne Piore, la renaissance économique survenue dans les pays industrialisés dans les années 1980 s'est caractérisée par deux types de croissance : les organisations vouées à la spécialisation flexible ont obtenu de bons résultats, mais un nouvel élan a été donné aux organisations de production de masse, qui ont obtenu de meilleurs résultats que dans la période précédente en s'orientant vers la production de masse flexible 15/.

1.2. Nouveaux facteurs de la compétitivité

La tendance à une plus grande flexibilité doit aussi être considérée dans le contexte des modifications affectant la demande du marché dans les pays industrialisés. Dans les années 1950, dans le contexte d'une relative pénurie, le prix était le critère le plus important pour tout produit de consommation, et les entreprises produisaient en masse, s'efforçant de réduire au maximum leurs coûts de main-d'oeuvre. Dans les années 1970, la qualité est devenue un critère aussi important que le prix, et dans les années 1980 les consommateurs ont exigé des produits de qualité plus adaptés à leurs besoins et goûts individuels. L'ère de la production de masse de produits indifférenciés s'achève; le principal défi sera de combiner la production de masse et la spécificité.

Cette pression de la demande, qui s'est d'abord exercée sur le marché des produits de consommation électroniques, a pris une grande extension dans l'industrie automobile 16/ où elle a exigé la mise en oeuvre de nouvelles technologies de production (telles que les méthodes de fabrication modulaire),

13/ Gian Maria Gros-Pietro et Secondo Rolfo: Flexible automation and firm size: some empirical evidence on the Italian case, Technovation 9 (1989), p. 493-503.

14/ Selon C.F. Pratten (Economies of scale for machine tool production, The Journal of Industrial Economics, vol 19, 1970-71, p. 148-165), les principales économies d'échelle dans l'industrie britannique de la machine-outil résultaient de l'importance de la production cumulative d'un seul et même modèle : cette situation jouait à l'avantage des petites entreprises et des chaînes de production étroites.

15/ M. Piore: The economic revival of the 1990's: Technology, organisational structure and competitive strategy. Conférence sur la technologie et la compétitivité, Paris, 24-27 juin 1990.

16/ Ted Kumpé, Piet T. Bolwijn: Manufacturing the new case for vertical integration Harvard Business Review, mars-avril 1988.

empruntées à l'industrie électronique et à l'industrie aérospatiale 17/. Les entreprises qui produisent des biens personnalisés visant certaines "niches" du marché doivent être suffisamment flexibles pour intensifier leur production dans les secteurs où la demande se révèle forte : elles ont besoin d'équipements capables de produire économiquement de petits lots de produits afin de réduire le volume des travaux en cours de fabrication, de minimiser les stocks et de satisfaire la demande des consommateurs dans un délai qui se chiffre en jours plutôt qu'en mois. Sur certains marchés, il existe une concurrence de plus en plus forte entre producteurs sur la base des délais observés : les consommateurs sont disposés à payer plus cher le privilège de la rapidité 18/.

Les conséquences de cette évolution vont au-delà du réoutillage des installations de production : en fait, la flexibilité peut souvent être obtenue par des innovations organisationnelles. Afin de faire face à ces nouveaux défis, les sociétés de production réorganisent leurs processus de production selon les principes de la production à flux tendus "juste à temps" ("just-in-time" ou JIT), les techniques telles que la réduction du temps de réglage ("set-up time reduction") ou le système "Kan-Ban" 19/ (encadré 9). La technologie du "juste à temps", mise au point initialement dans les années 60 en vue de réduire les stocks, a rapidement évolué en un système global visant à éliminer les pertes et à maintenir des niveaux élevés de fiabilité et de qualité dans l'ensemble du processus de production. Les fournisseurs sont groupés plus étroitement autour de l'usine de montage final, de sorte que les pièces qu'ils fournissent arrivent littéralement dans les minutes qui précèdent leur mise en oeuvre. Ainsi, le producteur final économise sur les coûts de stockage, et les composants défectueux sont repérés immédiatement. Alors que dans l'organisation traditionnelle, l'entreprise produit des articles et les vend, dans le système Kan-Ban, l'objectif est de produire des articles qui ont déjà été vendus, ce qui illustre la primauté des impératifs de commercialisation sur la production. Les éléments essentiels du système "juste à temps" sont que les marchandises doivent être achetées ou produites en quantités répondant exactement à la demande et qu'elles doivent être livrées au moment où on en a besoin 20/.

1.3. L'impact social de l'automatisation flexible

Alors que la mécanisation visait surtout à réduire les coûts de main-d'oeuvre par unité, l'automatisation flexible vise à réduire tous les éléments qui entrent dans le coût de production total, c'est-à-dire les dépenses de capital par la réduction des travaux en cours et les stocks de produits finis, l'utilisation plus intensive des capitaux par une plus grande mécanisation, et une utilisation globale plus intensive de l'équipement de l'usine, l'accélération du développement du produit et l'amélioration et la stabilisation de sa qualité.

17/ The Economist: "The arrival of haute couture", 29 juillet 1989.

18/ The Economist: "About time", 11 août 1990.

19/ Ainsi nommées par référence à la fiche d'acheminement attachée à chaque pièce en transit.

20/ U. Arnold, K. Bernard: Just-in-Time: some marketing issues raised by a popular concept in production and distribution, Technovation, 9 (1989), p. 401-431.

Encadré 9 : Juste à temps, Kan-Ban et Kan-Ban plus effet Alpha

Dans la production industrielle, il existe deux objectifs contradictoires, l'un étant de réduire les temps de réglage des machines en allongeant les séries et l'autre de réduire les coûts de stockage par un accroissement de la fréquence des séries. Le volume de production qui réalise le compromis entre ces objectifs est appelé "lot économique". Les constructeurs japonais se sont efforcés de réduire les temps de réglage, d'économiser sur les coûts de passation de commandes, et en même temps de réduire les lots économiques.

Le principe de base du "juste à temps" est simple : fabriquer et livrer les produits juste à temps pour être vendus, les sous-ensembles juste à temps pour être assemblés en produits finis et les matériaux juste à temps pour être transformés en pièces ouvrées. Cependant, dans son application, le juste à temps constitue bien plus qu'un mode de gestion des stocks : alors qu'au-delà d'un certain volume de stocks, les problèmes deviennent difficiles à identifier, les causes d'erreurs deviennent plus apparentes lorsque les stocks sont réduits.

On appelle Kan-Ban un système spécifique de réapprovisionnement des stocks mis au point au Japon par Toyota. Littéralement, Kan-Ban signifie "étiquette visible", et c'est bien ainsi qu'il faut l'entendre. La plupart des sociétés utilisent une fiche de commande qui accompagne les produits en cours de fabrication. Les fiches ne forment pas un système Kan-Ban car elles constituent un système "poussoir" de commande et de contrôle des pièces. Le système Kan-Ban est un système "tracteur", qui fournit les pièces lorsqu'elles sont nécessaires et minimise le volume des stocks. D'une façon générale, le Kan-Ban ne fonctionne correctement que dans le contexte d'un système "juste à temps".

Ce système a été mis au point à l'époque où tous les organes de production de Toyota étaient situés dans un cercle de 50 km de rayon. Depuis quelques années, la société a ouvert des usines aux Etats-Unis. Malgré tout, le "juste à temps" a été maintenu et adapté; en cas d'erreurs au niveau des commandes, les pièces doivent être expédiées par avion du Japon; les fournisseurs américains effectuent leurs livraisons dans des dépôts où Toyota procède à des prélèvements journaliers. Cette adaptation a forcé la société à mettre en oeuvre un système dit "Kan-Ban plus effet alpha". Des lignes de communication à grand débit ont été établies pour permettre au bureau central de contrôler l'ensemble de la production. L'objectif est de réaliser le juste à temps en temps réel; ainsi, les stocks de demain seront ajustés aux ventes de demain.

Extrait de l'étude de Schönberger : Japanese manufacturing techniques, nine hidden lessons on simplicity, London Free Press, 1982 et "Toyota Motor : Delivering tomorrow orders made today", Financial Times, 10 septembre 1990.

L'automatisation flexible est devenue le meilleur mode d'organisation concrète des industries mécaniques. Son impact social se fait sentir sur les plans de l'emploi, de l'intensification du travail, de l'organisation du travail et de la définition des tâches.

1.3.1. L'économie de main-d'oeuvre

L'emploi de machines-outils à commande numérique permet de réaliser des économies de main-d'oeuvre. Selon une estimation prudente faite en 1971 au Royaume-Uni ^{21/}, une machine-outil à commande numérique (MOCN) pouvait remplacer deux machines-outils à commande manuelle, et depuis ce rapport s'est sensiblement accru :

- en 1976, 1 MOCN représentait l'équivalent de 2,5 machines non numériques
- en 1981, 1 MOCN représentait l'équivalent de 3 machines non numériques
- en 1986, 1 MOCN représentait l'équivalent de 3,5 machines non numériques.

Un centre d'usinage à CNC avec manutention robotique et gestion de l'outillage n'exigeait qu'un ou deux opérateurs, tandis que les arrangements traditionnels remplacés par ce système de fabrication flexible nécessitaient l'intervention directe d'au moins dix ouvriers.

Sur la base d'exemples concrets étudiés en Suède et en République fédérale d'Allemagne, on estime à un ou deux tiers la réduction des coûts de main-d'oeuvre par unité de production, selon le type d'application et le nombre de postes.

Pour déterminer l'impact sur l'emploi, il faut prendre en considération

- les effets directs : les pertes d'emplois et les emplois générés dans les services d'entretien (à l'intérieur ou à l'extérieur de l'entreprise)
- les effets indirects : les gains obtenus du fait de l'amélioration de la compétitivité et les emplois qui auraient pu disparaître en raison du manque de compétitivité imputable à la non-application des nouvelles technologies.

Au niveau macro-économique, les études nationales n'ont pas toujours révélé de corrélation entre les taux de chômage et l'utilisation de techniques d'automatisation flexible. Une étude européenne a fait apparaître que les pertes d'emplois dues à l'introduction d'équipements à CNC représentaient moins d'un % du total des pertes d'emplois annuelles dans le secteur. L'investissement au titre des équipements à base d'électronique n'ont pas entraîné de déplacement sensible de la main-d'oeuvre, car parallèlement à cette réduction, les besoins d'assistance indirecte dans les domaines tels que

^{21/} Metalworking Production, Sixth survey of the United Kingdom.

la maintenance, la planification de la production et la programmation des ordinateurs augmentent 22/. "Il apparaît que dans l'ensemble le déplacement des tâches et le redéploiement des travailleurs au cours de l'innovation et de la rationalisation semblent s'équilibrer, et lorsque les changements technologiques accompagnent la croissance économique (...) ils tendent même à induire des effets positifs sur l'emploi par la revitalisation de l'économie." 23/

Cette évolution concernant l'économie de main-d'oeuvre est une caractéristique particulièrement inquiétante pour les pays en développement; cependant, il n'existe aucune étude d'ensemble sur les pays en développement, où la CN n'est encore que rarement utilisée, et les effets de cette introduction sur l'emploi sont encore trop limités.

1.3.2. Intensification du travail

L'introduction des machines-outils à CN exerce des répercussions sur l'intensification du travail. Selon une étude récente 24/, le temps effectivement consacré au processus de production est en moyenne égal à 30% de la durée totale de production lorsque des machines-outils classiques sont employées. Une analyse plus serrée de l'ensemble des durées de travail a montré qu'en moyenne 5% seulement de ce temps était effectivement consacré à l'enlèvement de matière; pendant les 95% restants, la pièce accapare des ouvriers et des machines, mais doit rester en attente d'usinage pour diverses raisons : positionnement, mesurage, déchargement, déplacement, changements d'outils, etc. En Suède 25/, en 1981, 20% environ du temps des ouvriers de l'industrie mécanique était consacré à l'utilisation des machines-outils, et 10% à des tâches intimement liées à l'usinage (réglage, réparation, entretien etc.).

L'introduction de machines-outils à CN peut améliorer le taux d'utilisation des machines, mais il ne faut pas en surestimer les résultats. En France, dans de petites et moyennes entreprises de constructions mécaniques, on a estimé à 6% du potentiel le taux effectif d'utilisation des machines-outils classiques 26/, mais dans la plupart des cas les MOCN étaient utilisées à 15 à 25% de leur potentiel.

22/ John Bessant: Microelectronics and change at work, Bureau international du travail, Genève, 1989.

23/ K.H. Ebel: Computer integrated manufacturing, the social dimension, Bureau international du travail, Genève, 1990.

24/ UCIMU The Italian industry of machine tool, automation and robotic Analysis of the recent evolution, 1989.

25/ Jacobson Edquist, Flexible automation - the global diffusion of new technology in the engineering industry, Basil Blackwell, Londres 1988.

26/ En général, la machine demeure inutilisée 94% du temps : 6% en raison de facteurs techniques, 10% en raison d'erreurs de gestion, 44% en raison du fait que la machine ne tourne que sur un poste au lieu de trois, et 34% en raison des arrêts pour les week-ends et les congés. CETIM : Améliorer la productivité des centres d'usines et de tournage, décembre 1988.

1.3.3. Organisation du travail 21/

Les modifications introduites en matière d'organisation du travail par les machines-outils à commande numérique doivent être considérées dans une perspective historique. L'ère de la CN a été précédée par quatre étapes caractérisées par l'introduction de nouvelles technologies et d'une nouvelle organisation du travail (voir encadré 10 et tableau 25).

Avec la technologie classique d'usinage, l'organisation du travail était caractérisée par une séparation relative entre les services de planification et les ateliers. L'introduction de la CN tend à réduire l'autonomie relative de l'atelier, car le programmeur et l'opérateur doivent coordonner leurs activités : l'opérateur peut déceler des erreurs dans le programme établi par le programmeur et sa réaction sera ensuite essentielle pour assurer une amélioration de la qualité des programmes; à partir de son expérience professionnelle, l'opérateur aura peut-être des idées différentes quant au choix des outils.

Auparavant, le conducteur d'une machine classique réglait sa machine sur la base d'un diagramme technique assorti d'instructions fournies par le département de préparation au travail. Il déterminait la vitesse de rotation du composant, le choix de l'outil et la configuration future du produit, toutes tâches exigeant de hautes qualités professionnelles. Dans le cas de la CN, la programmation devient une fonction distincte de la production et pouvant donc être effectuée soit dans le cadre du département des méthodes, ce qui renforce l'organisation tayloriste du travail, soit à l'atelier (encadré 11 et figure 21).

Les comparaisons internationales font apparaître une grande diversité de situations. C'est ainsi qu'en République fédérale d'Allemagne la programmation des machines-outils à CN tend à se rapprocher de l'atelier, ou même à s'y effectuer, sans différenciation substantielle de la compétence professionnelle des participants. La distinction entre le programmeur et l'opérateur est beaucoup moins marquée qu'en France ou au Royaume-Uni, sauf dans l'industrie de la machine-outil, où il existe une forte tradition artisanale, et où la planification et l'exécution du travail sont effectuées dans l'atelier.

21/ Cette partie du document s'appuie sur plusieurs enquêtes effectuées pour le Ministère de la recherche en France et le programme FAST en Europe. Les principales conclusions de ces travaux ont été publiées. Voir W. Cavestro: *Automation, Work Organization and Skills: the case of Numerical Control* dans *Automatica* Vol. 22, numéro 6, p. 739-746 et *Automation, New Man-Machine systems and skills* dans *International Journal of Robotics and Automation*, Vol. 3 numéro 1 1988. Voir aussi John Bessant: *Microelectronics and change of work*, Bureau international du travail, 1989.

Encadré 10 : Cinq siècles d'évolution technologique et organisationnelle

La production de la société Beretta, fondée en 1492, et vouée à la fabrication d'armes à feu, est passée par six principaux stades :

Dans le système anglais, les améliorations de processus ont tendu à s'effectuer indépendamment des contraintes du produit : les plans ont remplacé les modèles, et les ouvriers se sont trouvés dans l'obligation d'utiliser des instruments de mesure plus précis.

Le système américain était fondé sur l'interchangeabilité des pièces résultant de la nécessité de produire un grand nombre de composants identiques. L'organisation du travail s'est modifiée, avec une séparation nette entre ceux qui construisaient, entretenaient, montaient et amélioraient les machines et ceux qui fabriquaient les composants par centaines.

Taylor introduisit le concept de la gestion scientifique. L'analyse des tâches impliquait un rétrécissement des fonctions et l'élimination des variantes impliquant des tâches non répétitives. Le travail était standardisé et le contrôle du travail était aux mains de la gestion.

L'introduction du contrôle statistique du processus entraîna des modifications dans l'organisation du travail. Il exigeait seulement l'enregistrement à intervalles réguliers sur des tableaux du comportement du processus sur un échantillon de pièces. Dans l'optique dynamique introduite par le contrôle statistique du processus, le travail était défini comme visant à identifier les problèmes, à poser des diagnostics et à élaborer des solutions; la supervision n'avait pas pour objet de contrôler l'effort, mais de faciliter les changements.

Avec la CN, le champ des activités s'est largement élargi et le nombre de produits possibles a augmenté en raison de l'adaptabilité de l'équipement. La nature du travail évolue, et un conducteur de machine à CN travaille non sur des objets physiques mais sur des informations. La nature du travail évolue de la surveillance des machines à leur gestion et l'ingénierie de systèmes remplace la qualité comme activité dominante.

A l'ère de la fabrication intégrée informatisée, tout porte à croire que le travailleur soit totalement séparé des éléments physiques, et que le travail se mue en un acte de conception et de création de nouveaux produits et de nouveaux processus.

Source : Jaikumar: From Filling and fitting to flexible manufacturing, a study in the evolution of process control. Division of Research, Harvard Business School, février 1988.

Tableau 25 : Six étapes de l'organisation du travail

	Système anglais	Système américain	Gestion scientifique à la Taylor	Monde dynamique	Ere de la CM	Fabrication intégrée informatisée
	1800-1850	1850-1900	1900-40	années 50		
Nombre de machines	3	30	150	150	50	30
Echelle minimale (nombre de personnes)	40	150	300	300	100	30
Ratio personnel/chaîne	0:40	20:130	0:240	100:200	50:50	20:10
Nombre de pièces à refaire en fonction du travail exécuté	0,80	0,50	0,25	0,08	0,02	0,01
Nombre de produits	infini	3	10	15	100	infini
Prédominances technologiques	mécaniques	Fabrication industrielle		qualité	systèmes	connaissance
Modifications organisationnelles	Disparition des guildes	séparation du personnel et de la chaîne de production	spécialisation fonctionnelle	équipes de résolution des problèmes	contrôle cellulaire	programme de traitement du produit

Source : Jaikumar: from Filling and fitting to flexible manufacturing
Harvard Business School, document de travail 1988.

La programmation en atelier en République fédérale d'Allemagne ressemble à l'organisation du travail au Japon, où les fonctions de programmation/ planification du travail et d'exécution sont hautement interdépendantes et coexistent avec la participation d'ouvriers et de programmeurs hautement mobiles, et où le même employé intervient tant dans le département des méthodes que devant la machine-outil. Dans les fabriques allemandes de machines-outils, l'automatisation a d'abord fait peur, car la programmation des machines à CN hors de l'atelier bouleversait les relations établies dans l'usine; cependant, à mesure que les machines à CN se révélaient compatibles avec la haute compétence professionnelle des travailleurs et que la décentralisation de facto de la production de ces industries admettait cette automatisation, la situation évoluait : "les entreprises sont de plus en plus conscientes des avantages qu'il y a à faire fond sur les compétences du personnel en tant qu'option viable lorsqu'elles mettent en oeuvre la nouvelle technologie ... Il existe un rapport frappant entre l'utilisation croissante de la CNC et l'intérêt renouvelé des entreprises à l'égard de la formation et de l'emploi d'ouvriers qualifiés" 28/. Les ajustements qui étaient effectués manuellement sont maintenant analysés par ordinateur avec une beaucoup plus grande précision. Cependant, un certain degré de contrôle humain demeure nécessaire. Par exemple 29/, la qualité de certaines matières premières, telles que la fonte, peut varier énormément, et il peut s'avérer nécessaire d'apporter des ajustements mineurs aux programmes informatiques pour obtenir de bons résultats.

Ainsi, il apparaît que l'organisation du travail et les solutions technologiques sont largement interdépendantes : la fonction de programmation découle de l'organisation du travail préexistante et la transforme d'une façon plus ou moins contradictoire. Il existe une gamme considérable de schémas de tâches pour les machines à CNC, des plus simples aux plus complexes, comme on le voit à la figure 22.

L'existence de ces choix organisationnels ouvre des possibilités aux pays en développement, car elle permet de penser que l'automatisation flexible peut s'adapter aux circonstances locales et aux contraintes relatives aux disponibilités en opérateurs qualifiés.

28/ G. Hartmann, cité dans Piore et Sabel (1983).

29/ A.J. van Duren et M. van Manen: Flexible production automation: a description and definition, Technovation, 9 (1989), p. 389-399.

Encadré 11 : Evolution de l'organisation du travail :
le cas de la fabrication de produits en tôle

Dans les usines organisées traditionnellement, le processus de production commence par le découpage de la tôle au moyen de cisailles à guillotine. Les tracés sont ensuite reportés sur le métal, puis viennent les opérations de poinçonnage, de retouchage, de pliage ou formage et d'assemblage.

Avec l'introduction des machines-outils à CN, l'ensemble du processus est modifié par l'élimination de certains stades de production.

Le contrôle numérique élimine en particulier tous les travaux de traçage : cette activité qualifiée, qui exigeait des connaissances en trigonométrie et en dessin industriel, consistait à reproduire sur la tôle en vraie grandeur le dessin de la pièce pour guider le travail des conducteurs de machine. De même, les opérations de retouchage suivant le poinçonnage et visant à séparer les diverses parties et à redresser la tôle disparaissent en raison de la possibilité de couper les pièces sur la machine à poinçonner et à grignoter.

Avec l'introduction des cellules flexibles, les opérations de cisailage, de poinçonnage et de pliage sont groupées en un flux continu (voir figure 21).

Adaptation de l'article de W. Cavestro: "Automation, work organization and skills" dans International Journal of Robotics and Automation, Volume 3 numéro 1, 1988.

Figure 21 : Réorganisation de l'atelier

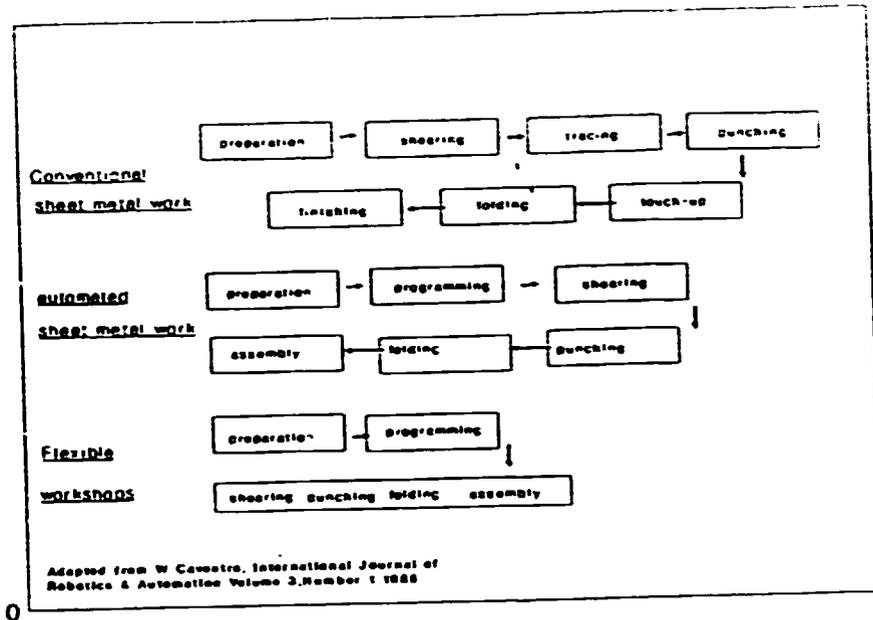


Figure 22 : Ensembles de tâches réalisables par les conducteurs de machines à CNC

Tâches	Alternatives 1	2	3	4
Programming	White	White	White	Black
Machine Setting	White	Black	Black	Black
Clamping and removing work-piece	Black	Black	Black	Black
Loading elements control operation	Black	Black	Black	Black
Quality control	Black	Black	Black	Black
Testing and optimizing programme	White	White	Black	Black
Machine maintenance	White	White	White	White
Machine Repair	White	White	White	White

Source: Goswami, Man and Work, Collection Agence 1980 811
 in P. H. Gosselin, Integrated Manufacturing, the actual dimension
 International Labour Office, Geneva 1982

1.3.4. Qualification ou déqualification

L'impact des technologies à base d'électronique sur la qualification du personnel est encore sujet à controverses. Certains affirment que la microélectronique est une technologie essentiellement déqualifiante car elle perpétue la tendance depuis longtemps établie au remplacement de l'activité intellectuelle, du jugement et de l'expérience par la mécanisation. Au contraire, les adversaires de cette thèse soulignent l'impact positif de l'automatisation sur les compétences de ces travailleurs. Cependant, il faut souligner que ces nouvelles technologies n'offriront pas d'emplois aux travailleurs peu qualifiés.

La commande numérique modifie de deux façons la nature des qualifications. Premièrement, le savoir-faire de l'ouvrier qualifié est partiellement "mémorisé" en amont de la production. Deuxièmement, les fonctions d'exécution et de commande tendent à être transférées à la machine elle-même. Pourtant, on peut dire que dans ce processus les capacités des travailleurs sont redéfinies à mesure que de nouvelles possibilités apparaissent.

Le conducteur d'une machine à CN tend à assumer la responsabilité de la gestion des outils, fonction hautement qualifiée qui consiste à définir les outils appropriés compte tenu du programme, la qualité de l'usinage à réaliser et l'usure des outils de coupe. Le programmeur ne donne pas toutes les caractéristiques de ces outils, et le conducteur de la machine peut modifier le choix de ces derniers compte tenu de son expérience de la réaction des outils sur des matériaux donnés.

Pendant le travail, le conducteur ne se limite pas à une supervision passive. Il intervient fréquemment sur les conditions d'usinage en collaboration avec le régleur ou avec le programmeur. L'optimisation d'un programme tend rapidement à donner au conducteur une plus grande maîtrise des conditions d'usinage, particulièrement dans le cas des centres d'usinage à CNC. La commande numérique ne détruit pas le savoir-faire de l'ouvrier, mais l'oriente plutôt dans de nouvelles directions. Le savoir-faire spécifique doit être accompagné d'une connaissance approfondie des relations entre les langages, l'usinage et les indices de perturbations (bruits, étincelles, configuration des copeaux). La codification de la machine n'implique pas nécessairement que le conducteur perd tout contrôle des processus en cours. L'intervention humaine est englobée dans une relation interactive dans laquelle le savoir-faire de l'ouvrier est transféré aux programmes, tandis que l'opérateur assimile progressivement les codes et les langages qui commandent l'action des machines. L'opérateur doit choisir entre de nombreuses informations soit numériques soit informelles.

L'évolution des qualifications de la main-d'oeuvre se manifeste aussi à l'extérieur de l'atelier : la qualification en électronique joue un rôle croissant et les techniciens de maintenance doivent posséder des connaissances hautement diversifiées. Les langages informatiques utilisés par le programmeur ou l'opérateur pour l'écriture de programmes de commande des machines évoluent sans cesse et de nouveaux langages offrent de nouvelles possibilités. La maintenance des logiciels devient prioritaire, mais elle peut être réalisée soit par le programmeur, soit par l'opérateur responsable de la machine.

En résumé, les technologies avancées de production ne doivent pas être considérées comme devant prendre la place de la main-d'oeuvre qualifiée. C'est la capacité de gérer l'évolution continue du système de production, et non pas seulement l'aptitude à faire fonctionner une usine automatisée qui détermine l'efficacité de la fabrication post-industrielle face à la concurrence 30/.

1.4. De la machine utilisée isolément à la fabrication intégrée par ordinateur

Il importe de souligner que la diffusion des systèmes d'automatisation flexible s'effectue dans le contexte d'une intégration croissante au sein de l'entreprise, où des activités auparavant fragmentaires sont de plus en plus coordonnées 31/.

Cette évolution a débuté dans chacune des différentes sphères de la production par l'automatisation de chaque activité affectée, machine par machine. Dans les années 50 et 60, l'apparition de la commande numérique a permis d'agréger les connaissances et l'expérience d'opérateurs qualifiés en un programme de commande enregistré sur bande perforée. Les années 70 ont été caractérisées par l'intégration de la programmation elle-même dans le cadre de systèmes de programmation d'ateliers pourvus de la CNC.

On observe une tendance similaire à l'intégration dans le domaine de la conception, où les divers stades de l'établissement des plans et de la conversion des idées et modifications en un ensemble complet de dessins industriels sont maintenant regroupés en un système de conception assistée par ordinateur (CAO).

La seconde étape consiste à intégrer des activités individuelles en un système d'automatisation d'un domaine de production. Sur ce plan particulier, le système de fabrication flexible coordonne plusieurs systèmes de machines-outils et de manutention à CNC par un dispositif de commande numérique direct supervisé par un ordinateur serveur.

Comme la microélectronique peut être utilisée dans toutes les activités à base d'information, la technologie peut être introduite dans les différents domaines d'activité 32/ d'une entreprise de fabrication allant de la gestion de la production, de l'administration, de la conception et des spécifications

30/ S. Cohen, J. Zysman, "Diverging trajectories: Manufacturing innovations and American Industrial Competitiveness", dans Politics and Productivity, p. 45.

31/ Voir Kaplinsky, Automation the technology and society, Longman, Londres 1984 et Bressant Integrated automation in batch manufacturing, Direction de la science, de la technique et de l'industrie de l'OCDE, 1986, et John Bessant Integrated Manufacturing Technology trend series, numéro 8 ONUDI 1988.

32/ K. Hoffman: Technological advance and organizational innovation in the engineering industries, Industry and Energy Department working paper, nombre 4, mars 1989.

de processus, et du traitement des matières premières à l'emballage, à l'essai et à l'inspection des produits finis et des processus de fabrication. L'intégration dans chaque domaine d'activité cède aujourd'hui le pas à l'intégration entre domaines d'activité, dans laquelle les systèmes de CAO/FAO établissent une continuité entre la conception et la production et les systèmes flexibles d'usinage combinent les fonctions de coordination et de production. A ce troisième niveau d'automatisation, les différentes activités seront finalement intégrées et coordonnées en un système intégré de fabrication pleinement informatisé.

En raison de cette tendance à l'intégration, la part des coûts de logiciels dans l'investissement ne cesse de croître. Selon des données rassemblées par l'IAASA 33/, le coût du logiciel atteint le tiers du coût global d'une machine à CN utilisée isolément. Le moitié du coût des systèmes flexibles de fabrication concerne les machines-outils à commande numérique - dans lesquelles le logiciel compte pour un tiers - et les logiciels de contrôle des systèmes, de communication et d'interface comptent en outre pour 20 à 30% du total. On rapporte que dans une usine japonaise automatisée, les coûts de logiciels entrent pour 50% dans l'investissement (tableau 26).

2. L'automatisation des équipements des machines utilisées isolément

Les technologies d'automatisation ont d'abord été appliquées sur des équipements utilisés isolément. Il est certain que les machines-outils à commande numérique se sont révélées efficaces, mais elles peuvent être considérées comme des éléments de substitution permettant d'exécuter les mêmes tâches avec une plus grande efficacité (encadré 12).

En raison de l'effet retardateur de la récession du début des années 80, la diffusion de l'automatisation s'est effectuée plus lentement et d'une façon moins régulière que prévu; le climat en matière d'investissement n'incitait pas les entreprises à consacrer davantage de capitaux à des technologies plus évoluées. Depuis 1982, le montant réel des dépenses en capitaux a progressé plus de deux fois plus vite que le PIB dans les pays de l'OCDE, et cette progression a entraîné une reprise des ventes de machines-outils accompagnée d'une progression plus vigoureuse encore des ventes de MOCN. Le Japon a ouvert la voie dans ce domaine, et la part des machines-outils à commande numérique dans le total des expéditions de machines-outils, mesurée en valeur, est passée de 29% en 1976 à 60% en 1983 et à 70% en 1988 dans le cas des machines-outils fonctionnant par enlèvement de métal 34/ et à 19% dans le cas des machines-outils fonctionnant par déformation de métal 35/.

33/ R.U. Ayres: Technology forecast for CIM dans Manufacturing Review vol. 2, numéro 1, mars 1989.

34/ La demande de remplacement des machines-outils à commande numérique fonctionnant par enlèvement de métal se chiffre à 779 milliards de yen (dont 263 milliards pour les tours à commande numérique) ce qui représente 78% des achats en 1988, Asisa Wall Street Journal, 22 juin 1989.

35/ Selon les statistiques de la Japan Forming Machinery Association, qui ne mentionnent aucune production de machines à CN avant 1988.

Tableau 26 : Part du logiciel dans le total de l'investissement

Pourcentage de l'investissement total	Domaine d'application de la commande numérique	Addition par rapport au niveau précédent
2%	Machine exploitée isolément	Instructions pour la commande de la machine
3%	Centre d'usinage	Instructions pour les changements d'outils
4%	Cellule d'outillage	Commande multiple des machines
6%	Système flexible d'usinage (1)	Ordonnancement
10%	Système flexible d'usinage (2)	Chargement/déchargement, stockage
15%	Système flexible d'usinage (3)	Inspection, triage
20%	Filière de production automatisée	Montage, palettisation, mise en kits
40%	Usine automatisée (1)	Organisation des modules fonctionnels, à savoir: système intégré de fabrication, planification des ressources de fabrication, CAO, FAO
50%	Usine automatisée (2)	Liaison avec le système intégré de fabrication, la planification des ressources de fabrication et le traitement des commandes, l'ordonnancement, l'analyse des coûts
70%	Usine automatisée (3)	Liaison de la CAO, de l'IAO, de la planification de programmes assistée par ordinateur et de la FAO

Adaptation de l'étude de R.U. Ayres: Technology forecast for CIM dans Manufacturing Review mars 1989.

Encadré 12 : L'"adoucissement" de l'automatisation "dure"

Les machines à CN, considérées comme "douces" ou programmables, présentent cinq caractéristiques.

1) La spécificité des procédures. Comme l'ordinateur est statique et fonctionnellement aveugle, des procédures doivent être écrites comme s'il s'agissait de guider un aveugle limité à une petite série d'activités dans un espace fini. La spécificité de la procédure, ainsi que l'éloignement de la personne de l'environnement de travail immédiat, accroissent le caractère abstrait et scientifique de cette activité.

2) L'adaptabilité au changement. Les programmes peuvent être changés sans difficulté. La qualité n'est plus prédéterminée au départ du processus, mais soumise à des améliorations constantes qui peuvent être contrôlées et modifiées au poste de travail. Il existe des modifications fréquentes et cumulatives des procédures, qui n'exigent pas d'allocations de ressources du centre de décision. Le travail à un poste donné n'implique plus seulement le contrôle, mais l'amélioration du processus.

3) Flexibilité des opérations. Les opérations à un poste de travail ne sont limitées que par la configuration - volume prismatique ou solide de révolution - de la pièce en cours d'usinage. Dans le cadre catégoriel, les machines peuvent effectuer presque n'importe quelle opération, avec comme seule limitation les disponibilités en outils et les tolérances qu'ils permettent de respecter. Ainsi, la portée des activités à un poste de travail à CN est élargie pour inclure l'introduction de nouvelles pièces et de nouveaux processus.

4) La reproductibilité. Une fois un programme écrit, le dispositif de commande de la machine est capable de reproduire le programme à l'infini sans erreur : plus le programme peut faire face aux contingences, moins la machine a besoin de conducteur qualifié. En effet, tout opérateur - ou opératrice - qui écrit une procédure effectue en quelque sorte un "clonage" de sa propre personne. Cela oblige au niveau de la gestion à introduire constamment de nouveaux produits et processus pour tenir occupé le personnel qualifié de l'organisation.

5) La transportabilité. L'utilisation d'un programme reproductible n'est pas limitée à la machine sur laquelle il a été mis au point. Ce programme peut être utilisé sur toute autre machine ayant une configuration identique, et sa reproduction ne coûte pratiquement rien. Ainsi, une fois le programme écrit, les pièces peuvent être confiées à une petite entreprise sous-traitante pourvue d'un matériel équivalent sans que la qualité pose réellement de problème.

Tiré de l'ouvrage de Jaikumar: From filling and fitting, Harvard 1988.

L'un des principaux facteurs qui ont contribué à la diffusion de la commande numérique a été le déclin des prix par rapport à ceux des machines-outils classiques. Cette situation est illustrée par le cas des tours au Japon (figure 23) dans lequel le rapport des prix entre les tours à CNC et les tours classiques est tombé de 8,3 en 1974 à 2,9 en 1988. Il faut noter que la diffusion rapide de la CN au Japon a suivi l'introduction du microprocesseur, qui a accéléré le déclin des prix de l'unité de contrôle (figure 24).

Les chiffres combinés de production des Etats-Unis d'Amérique, du Royaume-Uni, de l'Allemagne (RFA), de l'Italie et du Japon montrent que la part des machines-outils à CN dans le total des expéditions de machines-outils est passée de 21% en 1976 à 41% en 1982 et à 57% en 1988. Comme on le voit au tableau 27, la part des machines-outils à commande numérique dans la consommation de machines-outils (production plus importations moins exportations) est plus homogène que leur part dans la production.

Après un examen de l'évolution globale de la conception des machines-outils à la prochaine section, une analyse sectorielle de la diffusion des machines-outils à commande numérique dans les industries manufacturières des pays industrialisés sera présentée.

2.1. Evolution de la conception des machines-outils utilisées isolément

La principale innovation a été l'introduction de la CN, mais dans le domaine classique de la machine-outil un très grand nombre de progrès cumulatifs ont été réalisés. Les caractéristiques mécaniques des machines-outils ont peu évolué du point de vue conceptuel, mais ont beaucoup évolué quant à leur configuration et leur mode de commande 36/.

2.1.1. Structure

Le bâti est le plus gros élément de la machine-outil, auquel sont fixés tous les autres. Il doit assurer la résistance structurelle et la stabilité de l'ensemble et résister aux vibrations. Les bâtis de machines-outils sont généralement faits de fonte, que l'on tend à préférer car elle est facile à produire par les techniques de fonderie et à usiner pour assurer une bonne résistance. La recherche d'alternatives moins coûteuses a stimulé la recherche en ce qui concerne l'utilisation des structures en acier soudé ou de coques d'acier remplies de béton. On commence actuellement à utiliser des bétons à base de résine époxyde, de métracilate ou de polyester comme matériaux granitoides.

36/ Cette partie du présent document reprend dans ses grandes lignes le rapport de S.M. Patil: Technological Trends in machine tools and their implications for developing countries, Technology Trend Series, No 10, PICT/101, ONUDI 21, décembre 1989. Elle emprunte également certaines informations à l'Etude de l'industrie de la machine-outil à CN.

Figure 23 : Diffusion des tours à commande numérique (Japon)

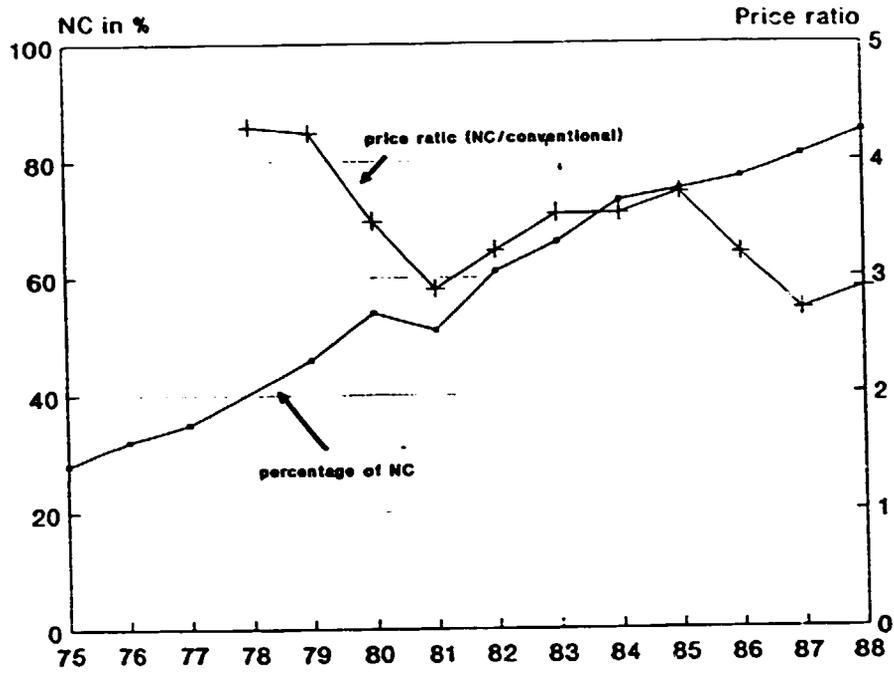
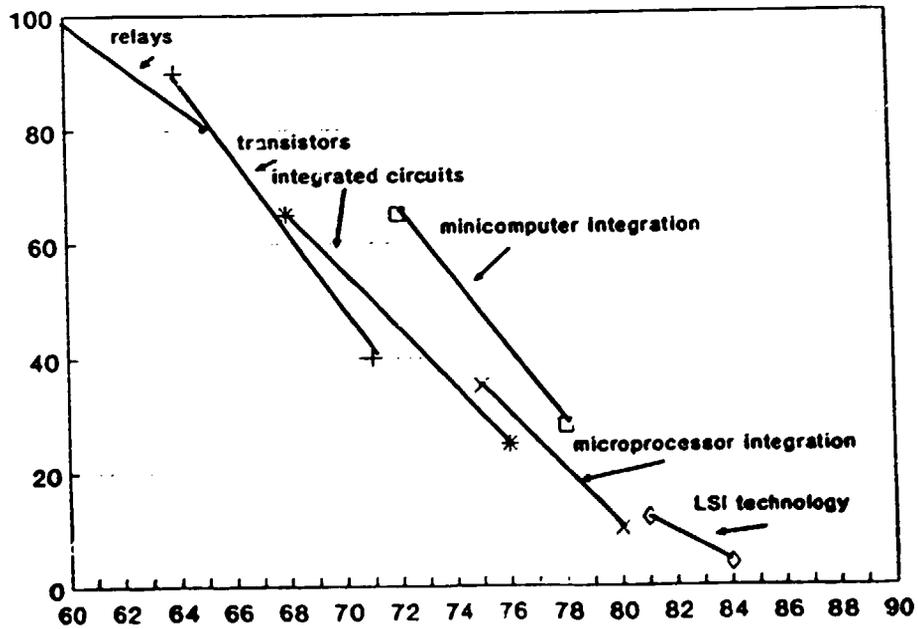


Figure 24 : Impact de l'innovation en électronique sur le prix des dispositifs de commande numérique



Adapted from Hans Kief

Tableau 27 : Les machines-outils à CN en pourcentage de la production et de la consommation

(selon la valeur des machines-outils fonctionnant par enlèvement de métal dans divers pays en 1988)

<u>Production</u>	France	RFA	Etats- Unis	Royaume- Uni	Italie	Espagne	Japon	Total pour ces pays
Perçage	0,0%	32,2%	0,0%	0,0%	0,0%	5,6%	69,0%	37,8%
Fraisage	89,2%	80,8%	47,2%	0,0%	87,6%	60,5%	62,0%	71,4%
Etaux-limeurs, mortaiseuses, scies	0,0%	57,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	21,3%	25,3%
Tours	91,8%	74,6%	84,0%	36,7%	70,4%	52,9%	89,5%	80,3%
Machine à rectifier et à polir	6,7%	45,5%	0,0%	0,0%	0,0%	29,5%	26,0%	26,0%
Machine d'alésage		65,2%	0,0%	89,3%	0,0%	72,7%	50,0%	43,6%
Machine à électro-érosion et électrochimiques	33,3%	58,5%	0,0%	0,0%			95,3%	82,6%
Taille de pignons	0,0%	63,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%
Centres d'usinage et transfert	92,7%	79,4%	54,9%	74,3%	49,8%	59,8%	100,0%	79,5%
Total pour l'enlèvement de métal	77,8%	63,0%	35,5%	62,6%	38,0%	48,6%	70,7%	60,5%
Total pour la CN millions de dollars	470	2972	584	478	757	253	4752	10266
<u>Consommation</u>								
Perçage	42,0%	27,0%	17,0%	100,0%	0,0%	25,0%	67,0%	39,0%
Fraisage	80,0%	78,0%	43,0%	26,0%	97,0%	61,0%	61,0%	68,0%
Etaux-limeurs, mortaiseuses, scies	0,0%		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		40,0%
Tours	84,0%	68,0%	91,0%	57,0%	77,0%	62,0%	85,0%	80,0%
Machine à rectifier et à polir	52,0%	53,0%	1,0%	0,0%	7,0%	15,0%	21,0%	24,0%
Machine d'alésage	94,0%	54,0%		100,0%	0,0%	100,0%	40,0%	
Machine à électro-érosion et électrochimiques	88,0%	57,0%	46,0%	0,0%	0,0%	0,0%	87,0%	72,0%
Taille de pignons	7,0%	73,0%	0,0%	69,0%	9,0%	50,0%	0,0%	21,0%
Centres d'usinage et transfert	92,0%	92,0%	67,0%	76,0%	59,0%	65,0%	100,0%	81,0%
Total pour l'enlèvement de métal	74,0%	64,0%	47,0%	68,0%	46,0%	49,0%	64,0%	59,0%
Enlèvement de métal à CN	825	1950	1284	503	790	248	2918	8518

2.1.2. Guides et surfaces porteuses

On utilise maintenant de nouveaux types de dispositifs pour assurer la longévité de la précision, réduire la nécessité de révisions périodiques et assurer la fourniture d'éléments de guidage facilement remplaçables permettant de se dispenser des opérations de râclage, qui sont coûteuses et entraînent des pertes de temps. De récentes innovations de la technologie des guides ont abouti à la mise au point de dispositifs mécaniques collés et fixés dont le coût est bien inférieur à celui des guides de précision même classiques fraisés ou râclés à la main.

2.1.3. Systèmes axiaux

La technologie des paliers a permis la réalisation de plus grandes vitesses de révolution; on parvient aujourd'hui à des vitesses de 6000 t/min, et la mise au point de nouveaux paliers en céramique a permis un accroissement encore plus spectaculaire : des machines capables de tourner à 40 000 t/min ont été exposées, et certains pensent que l'introduction de machines capables de tourner à 100 000 t/min n'est pas éloignée.

L'énergie thermique dissipée dans les têtes d'axes durant le fonctionnement de la machine provoque une dilatation thermique considérable qui entraîne un jeu latéral et vertical. Ces problèmes thermiques peuvent être surmontés en contrôlant et en stabilisant la température d'utilisation du porte-outils et en abaissant la température par des techniques de réfrigération. Le jeu latéral et vertical peut être compensé par l'utilisation de systèmes porteurs hydrostatiques avec rétroaction en pression sur la base d'une référence intégrée à la machine.

2.1.4. Dispositifs d'entraînement et de transmission

L'entraînement d'une machine-outil est assuré par une combinaison de moteurs électriques et d'un train d'engrenages. Diverses innovations électroniques ont mené à l'apparition d'un nouveau type de transmission : les transmissions électro-hydrauliques disparaissent au bénéfice des transmissions servo-électroniques, qui dominent aujourd'hui. Dans ces dispositifs à rendement élevé, les systèmes à aimants permanents à courant continu sont le plus communément utilisés.

2.1.5. Éléments de transmission mécanique

Parallèlement aux dispositifs directs de servo-transmission à courant continu et moteurs couple, les éléments de transmission mécaniques le plus fréquemment utilisés sont les vis et écrous anti-friction à recirculation. Cependant, des systèmes à écrous et vis-mères à lubrification hydrostatique ont été récemment mis au point, et trouvent des applications de plus en plus nombreuses dans le domaine de la machine-outil en raison de leur fonctionnement plus silencieux, de leur plus grande rigidité et de leur moindre friction.

2.1.6. Précision de la conception

La conception des machines-outils modernes vise à améliorer la précision des composants de machines. Dans ce contexte, une approche intégrée doit être adoptée pour la conception de la machine et des dispositifs de commande. Elle doit satisfaire à un double objectif : la machine doit pouvoir produire un composant et assumer en outre la fonction d'inspection de la pièce usinée, ce qui exige l'incorporation d'un certain nombre de dispositifs et systèmes de mesure sur la machine-outil. Les aides de servo-positionnement les plus communément utilisées sont les types indirects de transducteurs, cependant les types directs tels que les balances inductives et les grilles à effet de moirage trouvent une utilisation accrue en raison de leur plus grande précision.

2.1.7. Ergonomie, bruit et sécurité

La relation opérateur-machine est particulièrement importante lorsqu'il s'agit de machines à commande manuelle, et de nouveaux concepts sont aujourd'hui élaborés en vue de la conception d'un tour pilotable par une personne assise. Pour améliorer la communication visuelle au moyen de symboles, l'industrie s'efforce de parvenir à la mise au point d'un code de symboles internationalement reconnu.

Les recommandations récentes sur les niveaux sonores acceptables dans les ateliers et la réglementation obligatoire sur la sécurité font ressortir l'obligation de plus en plus impérieuse du constructeur de machines-outils de satisfaire à des normes de plus en plus sévères.

S'il est vrai que les règlements sont plus sévères pour les équipements fonctionnant par déformation de métal, les outils fonctionnant par enlèvement de métal sont aussi soumis à des impératifs réglementaires de sécurité concernant les protecteurs et carters protégeant l'opérateur contre les copeaux, les liquides refroidissants et les autres facteurs de risque.

2.1.8. Matériaux utilisés pour les outils

La productivité de la machine dépend directement de l'outil de coupe. Un certain nombre de nouveaux matériaux ont été introduits ou sont en cours de développement. Une des principales percées a été la production du carbure cémenté pour l'enlèvement de métal. Beaucoup de matériaux de coupe exempts de tungstène ont été utilisés, les plus prometteurs étant le carbure de titane et le nitrure de titane.

2.2. Diffusion des machines-outils à commande numérique

L'introduction d'unités de commande dérivées du micro-ordinateur dans les années 70 a permis le changement automatique des outils, qui a été l'un des résultats les plus marquants de la technologie de la commande numérique dans les machines utilisées isolément. Parmi les machines-outils, celles fonctionnant par enlèvement de métal sont les plus largement utilisées, et comptent pour 75% des unités installées, et c'est parmi elles que la diffusion de la commande numérique a été la plus importante.

Pour évaluer la diffusion des machines à commande numérique, on prendra pour point de départ l'évolution des expéditions et de la consommation de machines-outils indiquée au tableau 27, qui fournit des données détaillées de production et de consommation (en valeur) pour les principaux pays producteurs 37/ en 1988, et sur la diffusion de la commande numérique dans la consommation apparente de machines-outils en unités, indiquée au tableau 28. Autant que possible, l'analyse sera fondée sur les inventaires effectués récemment au Royaume-Uni, aux Etats-Unis d'Amérique et au Japon.

Tandis que les machines-outils à commande numérique comptent pour 50 à 70% environ de la valeur des machines-outils achetées dans la plupart des pays industrialisés, elles représentent en moyenne de 20 à 40% de la consommation mesurée en termes unitaires et de 5 à 15% du nombre de machines-outils installées dans les industries mécaniques. Les mesures en unités sous-évaluent le rôle des machines-outils à commande numérique dans les industries mécaniques. Le remplacement d'un tour classique par un centre de tournage à commande numérique ne peut pas être considéré comme la substitution d'un équipement à un autre, car le taux d'utilisation du centre de tournage à CN est de 3 à 5 fois plus élevé que celui du tour classique. En France, où les machines-outils comptent pour 12,7% de la capacité installée, on a estimé que 50% environ des opérations d'usinage sont maintenant réalisées sur MOCN 38/.

L'importance donnée aux MOCN ne doit pas conduire à négliger l'importance des machines classiques. Le marché des machines-outils classiques demeure important, la demande sur ce plan particulier provenant des petites et moyennes entreprises, des ateliers d'entretien et des services généraux d'appui à l'industrie mécanique 39/ (voir encadré 13).

37/ A l'exclusion de la Suisse et de la Suède, qui ne publient pas de statistiques désagrégées de leur production de machines-outils à commande numérique.

38/ P. Frémeaux, R. Touboul: Machine outil 90, les enjeux, Bureau d'Information et de Prévisions économiques, Paris 1990.

39/ DECKEL SA, second fabricant allemand de machines-outils, qui avait accordé une attention excessive aux machines à CN, a perdu une bonne part de sa clientèle traditionnelle, celle des moyennes entreprises, qui ont trouvé les nouvelles technologies trop compliquées, ce qui explique certaines de ses récentes difficultés ("Decked by blunders", International Management juin 1990).

Encadré 13 : L'avenir du tour classique

Plus de la moitié des répondants à une enquête sur les tours effectuée dans l'industrie métallurgique britannique faisaient ressortir que le tour parallèle à pointe demeurerait tel quel, tandis qu'un répondant sur quatre seulement disait de même à propos des tours-revolver, à tourelle et automatiques.

Types de machines à tourner installées depuis 1987 :

Tours à CN/CNC (tournage seulement)	32
Tours parallèles (à pointe) sans CN	14
Tours avec outillage à CN/CNC	13
Tours-revolver, à tourelle et automatiques sans CN	9
Autres machines à tourner sans CN	7
Autres machines	28
Non indiqué	21

Source : Metalworking Production, mars 1989.

2.2.1. Les tours

Les machines-outil à CN les plus employées sont les tours à commande numérique.

Expéditions : Selon le tableau 27, 89,5% des tours produits au Japon étaient à CN (74% en unités). En Allemagne (RFA), les tours à CN comptaient pour 74,6% de la production de tours.

La production de tours à CN est hautement concentrée au Japon (la moitié environ de la production mondiale); parmi les autres principaux producteurs figurent l'Allemagne (RFA) et l'Italie (tableau 29).

Consommation : En termes de valeur, les tours à CN comptent pour 90% environ de la consommation apparente de tours, tandis qu'en unités (tableau 28), le pourcentage est de l'ordre de 30 à 70% dans les principaux pays industrialisés.

Inventaire : On voit au tableau 30 qu'au Royaume-Uni, tandis que le nombre de machines de tournage sans SN déclinait de 5% entre 1982 et 1987, le nombre de machines à CN augmentait de 99%; les machines à CN représentaient 10% du nombre de machines sans CN en 1987 contre 4% en 1982. Aux Etats-Unis, l'évolution a été similaire.

Tableau 28 : La diffusion de la CN dans la consommation apparente
(mesurée en unités, en 1988)

	Allemagne	Etats- Unis	Royaume- Uni	Italie	Japon
Perçage à CN	258	273	33	1259	
Fraisage à CN	3623	1101	616	2067	
Tours à CN	3060	6144	879	1730	12897
Machine de rectification et de polissage à CN	2454	75	401	58	798
Machines d'alésage	505	223	1007	93	
Machines d'électro-érosion et électrochimiques à CN	733	92	0	0	3464
Taillages de pignons à CN	485	65	42		
Centres d'usinage et chaînes de transfert à CN	1116	3913	1170	2151	7177
Machines à enlèvement de métal à CN	17650	11878	893	4297	
Perçage à CN	0%	3%	1%	0%	3%
Fraisage à CN	42%	8%		46%	35%
Tours à CN	29%	53%		29%	70%
Machines de rectification et de polissage à CN	2%	0%	1%	4%	1%
Machines d'alésage	30%	23%	100%		12%
Machines d'électro-érosion et électrochimiques à CN	100%	4%			100%
Taillages de pignons à CN	100%	0%	3%	25%	
Centres d'usinage et chaînes de transfert à CN	100%	90%	100%	100%	100%
Machines à enlèvement de métal à CN	5%	1%	2%	5%	

Source : Chiffres calculés à partir des statistiques du CECIMO.

Tableau 29 : Production de machines-outils à CN dans certains pays industrialisés en 1988
(millions de dollars EU)

	France	RFA	Etats- Unis	Royaume- Uni	Italie	Espagne	Japon	Total
Perçage à CN	0	29	0	0	0	1	118	148
Fraisage à CN	74	550	84	0	183	89	230	1210
Linage, mortaisage, sciage	0	102	0	0	0	0	17	119
Tours à CN	89	788	226	47	252	54	1550	3006
Machine à rectifier et à polir à CN	1	376	0	0	0	13	217	607
Alésage à CN	0	101	0	50	0	8	74	233
Machines d'électro-érosion et électrochimiques à CN	2	79	0	0	0	0	549	630
Taillage de pignons à CN	0	146	0	0	0	0	0	146
Centres d'outillage, chaînes de transfert à CN	177	759	274	176	322	58	1578	3344
Enlèvement de métal à CN	470	2972	584	478	757	253	4752	10266
	Pourcentages							
Perçage à CN	0,0%	19,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,7%	79,7%	100,0%
Fraisage à CN	6,1%	45,5%	6,9%	0,0%	15,1%	7,4%	19,0%	100,0%
Linage, mortaisage, sciage	0,0%	85,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	14,3%	100,0%
Tours à CN	3,0%	26,2%	7,5%	1,6%	8,4%	1,8%	51,6%	100,0%
Machine à rectifier et à polir à CN	0,2%	61,9%	0,0%	0,0%	0,0%	2,1%	35,7%	100,0%
Alésage à CN	0,0%	43,3%	0,0%	21,5%	0,0%	3,4%	31,8%	100,0%
Machines d'électro-érosion et électrochimiques à CN	0,3%	12,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	87,1%	100,0%
Taillage de pignons à CN	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Centres d'outillage, chaînes de transfert à CN	5,3%	22,7%	8,2%	5,3%	9,6%	1,7%	47,2%	100,0%
Enlèvement de métal à CN	4,6%	28,9%	5,7%	4,7%	7,4%	2,5%	46,3%	100,0%

Source : Chiffres calculés à partir des statistiques de la CECIMO.

La tendance technologique actuelle est à l'emploi d'une seule tourelle à combinaisons pouvant être pourvues d'outils pour le tournage tant intérieur qu'extérieur. Les machines, plus sophistiquées, peuvent usiner une pièce en une seule et même configuration; les tours simples à deux axes cèdent la place aux tours à quatre axes.

La conception des centres de tournage a doté le tour ordinaire de nouvelles capacités: ils sont maintenant capables de fabriquer complètement des pièces en une seule et même opération d'une façon très analogue à celle des centres d'usinage qui produisent des composants prismatiques : "On appelle centre de tournage une machine-outil essentiellement conçue pour usiner des surfaces de révolution sur une pièce en rotation, et pourvue en outre d'outils actionnés mécaniquement capables d'assurer un usinage secondaire sur la pièce immobilisée, avec ou sans automatisme de changement d'outils et/ou de chargement/déchargement de la pièce". Les machines sont capables d'effectuer simultanément des opérations d'usinage en mode CNC multi-axe en utilisant des outils standards sur des tourelles distinctes. Cette capacité de production de pièces complètement finies dépend de l'aptitude à faire intervenir différents outils pour machiner la pièce en une seule et même configuration; les centres de tournage sont ainsi capables non seulement de tourner, mais aussi de fraiser, percer, tarauder et aléser; ils peuvent aussi accomplir plusieurs opérations similaires simultanément.

Des expériences de tournage au laser sont aussi en cours, et trois lasers dimensionnels de découpe et de soudage sont à l'étude dans l'industrie automobile en vue de l'introduction de panneaux en option en carrosserie à une étape ultérieure du processus de montage des voitures 40/.

2.2.2. Alésage, perçage et fraisage

L'alésage et le perçage peuvent être accomplis au moyen soit de tours soit de machines à percer, aléser et occasionnellement fraiser. Des machines capables d'accomplir toute une série d'opérations ont été mises au point au cours des ans, et les machines à fraiser, à aléser et à percer à CNC ont progressivement remplacé les machines classiques.

Expéditions : On voit au tableau 27 que les machines de perçage à CN représentaient en moyenne 37,8% du total des machines-outils de perçage en 1988 (69% au Japon); le rapport moyen était de 71,4% pour les machines à fraiser et de 43,6% pour les machines à aléser.

Les plus importants producteurs sont l'Allemagne (RFA) suivie par le Japon.

Consommation : Les machines à CN comptent en moyenne pour 68% de la consommation apparente de machines à fraiser et pour 39% de celle de machines à percer. En termes unitaires (tableau 28), les pourcentages sont beaucoup plus faibles (35% pour le fraisage au Japon et entre 10 et 30% pour l'alésage).

Tableau 30 : Diffusion de la commande numérique dans le domaine du tournage

<u>Royaume-Uni</u>			
en unités	1982	1987	87/82
Tournage à CN	7883	15723	99,5%
Pourcentage CN/sans CN	4,5%	10,7%	
Tournage sans CN	174374	147329	-15,5%
tours-revolver, à tourelle et automatiques	81117	55996	-31,0%
tours parallèles	72292	55185	-23,7%
Année d'acquisition de la machine sans CN			
0-5 ans	22,0%	23,0%	
> 20 ans	33,0%	29,0%	
<u>Etats-Unis</u>			
	1983	1988	88/89
Tournage à CN	33352	74077	122,1%
CN/sans CN, en pourcentage	9,1%	18,3%	
Tournage sans CN	332327	330357	-0,6%
Année d'acquisition de la machine sans CN			
0-4 ans	11,0%	8,6%	
> 20 ans	40,0%	38,6%	

Sources : Sixth survey of machine tools
Metalworking production
American Machinist, novembre 1983 et novembre 1988.

Inventaires : Au Royaume-Uni, les machines à fraiser à CN comptaient pour 21% des acquisitions de nouvelles machines à fraiser entre 1981 et 1986, contre 8% entre 1977 et 1981, et l'accroissement était de 15 à 21% pour les machines à aléser à CN et de 2 à 6% pour les machines à percer.

Les machines à fraiser, à percer et à aléser à CN sont elles-mêmes remplacées par des centres d'outillage qui accomplissent une combinaison d'opérations.

Historiquement, c'est le chargeur d'outils qui détermine la distinction entre le centre d'usinage et les autres machines-outils. Les changeurs d'outils sont à axe soit horizontal soit vertical, le choix entre les deux étant déterminé par le centre de gravité et la forme des pièces à fabriquer. Les changeurs d'outils horizontaux sont utilisés pour les pièces lourdes, et les verticaux sont préférés lorsqu'un travail à trois axes est effectué sur une seule et même face (par exemple dans la fabrication de moules ou de matrices).

Tableau 31 : Centres d'usinage et machines à fraiser
Tendances des équipements aux Etats-Unis

	Centres d'usinage part		Fraiseuses à CN		Fraiseuses classiques	
1983	24003	9.3%	15929	6.2%	218479	84.5%
1988	52585	17.4%	28260	9.4%	220846	73.2%
accroissement	119.1%		77.4%		1.1%	

Source : Calculs fondés sur les données d'American Machinist.

Expéditions : Alors qu'en 1976 les centres d'usinage comptaient pour 38% seulement de la production de machines remplissant la fonction de fraissage, leur part est montée à 65% en 1986 dans les principaux pays de l'OCDE producteurs de machines-outils. Les données nationales disponibles montrent que leur part était de 81% au Japon en 1988 et de 39% en Allemagne (RFA). La part des fraiseuses à CNC a stagné tandis que celle des machines de fraissage classiques déclinait régulièrement (7% au Japon en 1988).

Inventaires : Au Royaume-Uni, les acquisitions de centres d'usinage ont augmenté très rapidement, et les trois quarts des centres d'usinage ont été achetés entre 1982 et 1986. Dans les stocks de machines à CN, les centres d'usinage viennent en second lieu après les machines à tourner.

2.2.3. Machines à rectifier

La diffusion des techniques de commande numérique des opérations de rectification n'a commencé réellement que dans les années 80; la rectification était jusque-là un processus manuel reposant sur la capacité professionnelle de l'opérateur.

Les machines à rectifier cylindriques ont été les premières à bénéficier de la CNC. La commande numérique a aussi été appliquée à la rectification des surfaces. Les producteurs d'outils hésitaient à passer à la commande numérique, invoquant parmi leurs principaux arguments le peu de longueur des séries, la non-répétabilité des commandes et les coûts en jeu; les producteurs devaient développer eux-mêmes leurs unités de commande ou acheter une CNC standard et établir un logiciel approprié à partir de leur expérience professionnelle.

La plupart des machines de rectification de surfaces actuellement utilisées sont manuelles et ne seront vraisemblablement pas remplacées dans l'avenir prévisible. Tout le monde ne convient pas que la CNC est la seule solution envisageable : la précision et la qualité dépendent également de variables telles que la conception de la machine et le type de roue abrasive 41/.

Expéditions : La part des machines de rectification à CNC dans les principaux pays de l'OCDE producteurs de machines-outils n'était que de 1% en 1976; elle atteignait 11% en 1984 et 26% en 1988 (tableau 27). Les principaux pays producteurs sont la République fédérale d'Allemagne et le Japon.

Inventaire : En 1987, au Royaume-Uni, les machines de rectification à CN ne représentaient que 2% du total des machines de rectification installées; leur part des nouvelles acquisitions a rapidement augmenté, de 2% au début des années 80 à 9% en 1986.

La machine de rectification évolue également vers une cellule de rectification, facile à relier à d'autres machines par des véhicules guidés automatiquement. Certains dispositifs de rectification interne à CN ont accru leur flexibilité par l'addition de fonctions de tournage de petits éléments.

2.2.4. Autres machines fonctionnant par enlèvement de métal

Parmi les autres machines-outils à enlèvement de métal, la CN progresse rapidement en ce qui concerne les machines électrophysiques et les machines à électroérosion. Ces équipements se prêtent à l'automatisation, car tous les paramètres peuvent être surveillés d'une façon continue.

L'électroérosion est aussi appliquée aux composants complexes petits et fragiles qui, en raison de leur très faible dimension, sont de plus en plus demandés dans l'industrie électronique. Plus de 90% des machines à électroérosion produites au Japon sont à CN, ce chiffre étant de 58% en République fédérale d'Allemagne. L'inventaire effectué au Royaume-Uni a permis de constater "que l'une des percées les plus spectaculaires (en matière de commande numérique) concerne les catégories de commande numérique physico-chimiques, qui sont largement utilisées par les sous-traitants dans leurs services internes d'outillage, qui explorent les technologies de CAO/FAO liées à la commande numérique de l'électroérosion et du fraisage.

2.2.5. Machines-outils fonctionnant par déformation de métal

Les machines-outils fonctionnant par déformation de métal représentent traditionnellement 25% de la production mondiale de machines-outils. Plusieurs indications donnent à penser que ces machines prendront de plus en plus d'importance dans la demande mondiale et, dans certains secteurs d'activité,

41/ Machinery and Production, mars 1989.

entreront en concurrence avec les machines-outils par enlèvement de métal. Leur utilisation permet de réduire certaines séquences d'usinage qui sont inévitables avec les machines à enlèvement de métal. Leur succès à cet égard repose sur trois facteurs : la facilité avec laquelle l'intervention manuelle peut être minimisée, la mesure dans laquelle elles se prêtent à la production par petites séries et la réduction des coûts d'outillage (matrices et outils de reproduction) qu'entraîne l'utilisation croissante de la CAO/FAO et de la CNC.

La diffusion des techniques de CN a été relativement plus lente dans le cas des machines-outils fonctionnant par déformation de métal que dans celui des machines fonctionnant par enlèvement de métal.

Expéditions : En Allemagne (RFA), les machines à CN représentaient 19% du total des machines fonctionnant par déformation de métal en 1988, 70% du total des machines de cisailage et de poinçonnage, et 30% du total des presses.

Inventaires : Au Royaume-Uni, la proportion des machines-outils à déformation de métal pourvues de la CN dans le total des machines fonctionnant par déformation de métal est passée de 1,2% de la capacité installée (en unités) en 1981 à 2,4% en 1986.

2.3. Diffusion des MOCN dans les secteurs industriels

L'analyse de la diffusion des MOCN parmi les secteurs industriels et de son évolution au cours des dix dernières années fournit des informations utiles sur la tendance de l'automatisation industrielle dans les industries mécaniques. Elle peut aider à déterminer les secteurs dans lesquels l'utilisation de ces machines se généralise de plus en plus, situation qui affectera les règles de la compétitivité.

2.3.1. Evolution générale

Les statistiques de la capacité installée, qui mesurent le nombre effectif de machines existant dans les industries manufacturières, fournissent une indication de la durée de vie utile des biens de production, ainsi que de la modernité relative des industries mécaniques. En raison de la longévité des machines-outils, les machines-outils classiques sont encore majoritaires dans les pays industrialisés.

Au Japon (figure 25), le Ministère du commerce et de l'industrie a effectué sept inventaires depuis 1952 ^{42/}. Les machines à CN sont apparues pour la première fois dans les enquêtes en 1967, date à laquelle le nombre de

^{42/} En 1952, 1958, 1963, 1967, 1973, 1981 et 1987. La comparaison entre ces inventaires pose des problèmes. La portée des inventaires peut évoluer. Par exemple, en 1987 et en 1981 ils portaient surtout l'industrie des machines et les industries connexes tandis que les précédents inventaires concernaient toutes les industries manufacturières; les catégories d'âge des machines varient quelquefois d'un inventaire à l'autre.

machines-outils à CN fonctionnant par enlèvement de métal était de 769. Ce nombre a augmenté très sensiblement à partir de 1975, et la part de ces machines dans le stock total de machines-outils est passée de 3,6% en 1981 à 10,7% en 1987. A la dernière enquête, le pourcentage de machines-outils à enlèvement de métal pourvues de la CN (limité aux machines de moins de trois ans) atteignait 33% (contre 12% lors de l'enquête précédente).

Au Royaume-Uni (figure 26), le nombre de machines-outils à CN en service, de 25 800 en 1982, atteignait en 1987 52 400 (à l'exclusion des robots) sur un total de 748 000 machines-outils installées dans les industries britanniques. La part des MOCN dans le stock total de machines-outils, de 0,2% en 1970, se chiffrait à 7% en 1986. Le taux d'introduction de machines utilisant les nouvelles technologies a augmenté après 1982 : la part des MOCN dans le total des acquisitions de machines-outils fonctionnant par enlèvement de métal, qui était en moyenne de 7% entre 1976 et 1981, est passée à 18% entre 1981 et 1986; pour les dix dernières années les nouvelles acquisitions de machines à CN faites comptent pour la moitié des machines à CN installées.

Aux Etats-Unis d'Amérique (figure 27), en 1988, le nombre total de machines-outils à CN avait plus que doublé depuis l'inventaire de 1983.

Une des conclusions des derniers inventaires concerne l'accélération du taux d'acquisition de machines à CN par les petites et moyennes entreprises. Les grandes entreprises ont été les premières à expérimenter ces machines, mais l'apparition de données d'entrée manuelle adaptées aux besoins de l'utilisateur, de la commande numérique et des systèmes de programmation autonomes ont rendu la CN beaucoup plus accessible aux petites entreprises.

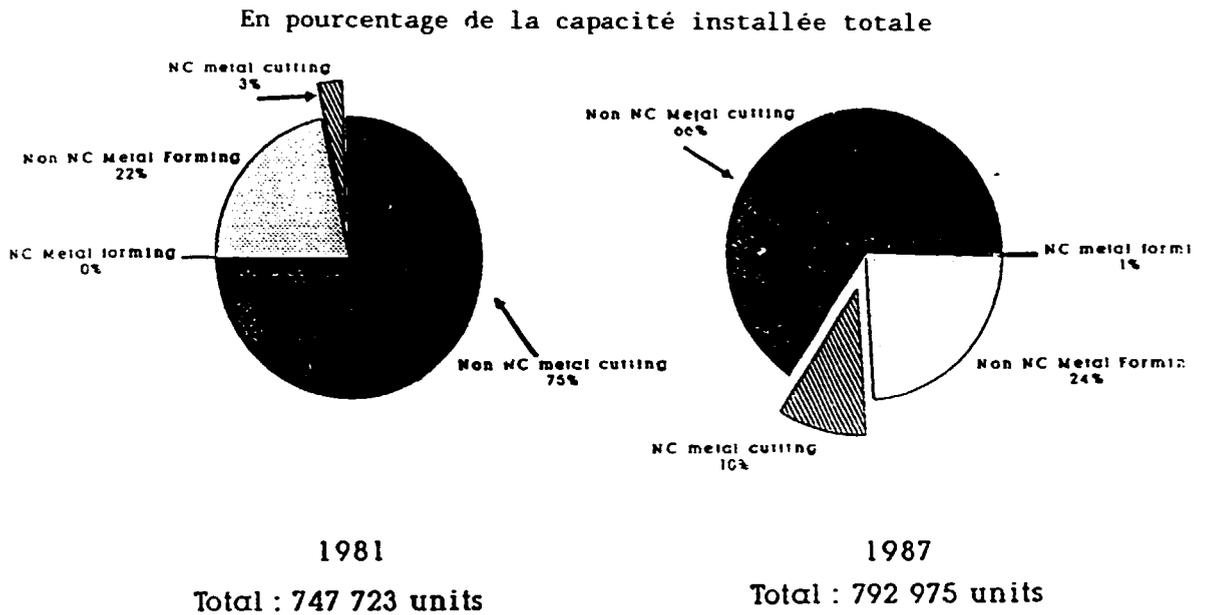
Lors de l'inventaire effectué aux Etats-Unis, on a constaté que 63% des machines-outils à CN sont installées dans des entreprises occupant de 1 à 19 et de 20 à 99 salariés. Une évolution similaire s'est produite au Royaume-Uni où 54% des machines à CN sont installées dans des usines comptant moins de 100 salariés. Aux Pays-Bas, on a constaté que la demande de machines à CN venait principalement de petites et moyennes entreprises, qui remplacent leurs machines démodées à cartes perforées ou à commande manuelle par des machines commandées par (mini-)ordinateurs 43/.

Cette tendance est claire dans le cas des sous-traitants. Selon l'inventaire britannique, leur part dans le total des machines-outils à CN est de 22%, et 78% de la capacité installée a été acquise depuis 1982 : "Les sous-traitants ont compris rapidement que le centre d'usinage est un outil hautement flexible. En plus des travaux exécutés à façon, le sous-traitant peut soumissionner pour des travaux à effectuer en série continue et ne nécessitant d'investissements additionnels qu'en ce qui concerne les équipements fixes et la programmation. Il n'est pas nécessaire d'investir des capitaux dans l'achat de machines spécialisées pour emporter de tels contrats" 44/.

43/ A.J. Van Duren, Technovation 1989.

44/ Metalworking production, The sixth survey of machine tool and production equipment in Britain.

Figure 25 : Diffusion de la CN dans les industries mécaniques du Japon



Source: MITI, machine-tool inventories

Figure 26 : Machines-outils installées, selon la période d'acquisition au Royaume-Uni (1987)

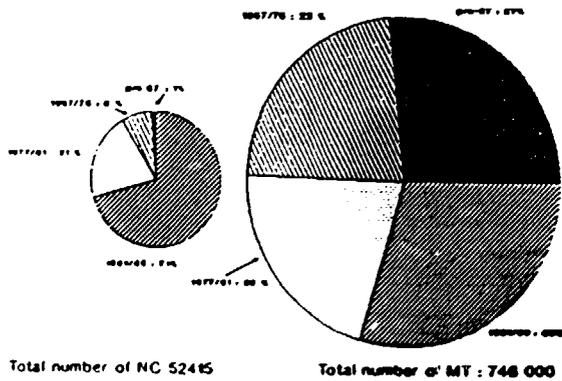
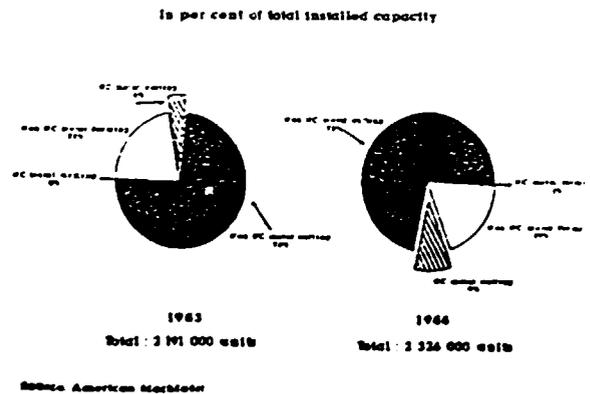


Figure 27 : Diffusion de la CN dans les industries mécaniques des Etats-Unis



La diffusion de ces machines parmi les petites et moyennes entreprises pourrait être envisagée sur la base de considérations liées au "paradigme technologique", les MOCN permettant des économies de champ d'activité qui permettent de remédier au manque d'économies d'échelle. Cependant, tel n'est pas nécessairement le cas, comme on peut le constater dans le cas de l'Italie ^{45/} où il apparaît que les principaux utilisateurs étaient de grandes entreprises engagées dans la production de masse, comme l'industrie automobile et les producteurs d'appareils électriques. Pour élucider cette tendance contradictoire, une enquête a été menée dans 4 000 entreprises, d'où il est ressorti que le succès dans l'introduction de systèmes d'automatisation flexibles nécessite un long processus d'apprentissage, de fastidieuses procédures de réorganisation et des processus de réallocation des stratégies qui sont plus faciles à réaliser dans les grandes entreprises ou dans de plus petites entreprises de pointe familiarisées avec les techniques électroniques avancées. Les plus gros problèmes semblent être de type organisationnel, et liés à la nature intégrée et intégrante des nouvelles technologies; ils nécessitent l'intégration de la planification de la production et du système de conception, ainsi que de nouvelles statistiques professionnelles.

2.3.2. Analyse sectorielle

La répartition des MOCN (fonctionnant tant par enlèvement de métal que par déformation de métal) parmi les principales entreprises de construction mécanique indique que dans les trois pays considérés la plupart des MOCN sont installées dans le secteur général de la construction de machines (CITI 382) (tableau 32). Cependant, cette diffusion s'est révélée plus rapide dans le cas du matériel de transport, où en 1988 31% des MOCN étaient installées au Japon (23% en 1981) et 22% aux Etats-Unis (15% en 1983). La diffusion des MOCN dans le secteur des machines électriques a aussi été très rapide. Une enquête effectuée en Allemagne (RFA) en 1987/88 a révélé que la moitié environ des entreprises utilisaient des machines à CNC ^{46/}.

Dans les cas du Royaume-Uni, du Japon et de la France, on peut analyser la diffusion des MOCN à un niveau plus désagrégé et mesurer le niveau d'automatisation des industries mécaniques par un indicateur à trois chiffres, ce qui permet une évaluation économique de l'impact de la CN dans les différentes branches de l'industrie.

La sixième enquête sur les machines-outils au Royaume-Uni prend en considération 15 sous-secteurs classifiés selon les catégories de la SIC (tableau 33).

Le secteur des industries mécaniques compte pour près de la moitié du nombre de machines-outils à CN, et dans ce secteur, ce sont les entreprises productrices de matériel militaire, d'équipements de transport de matériels mécaniques (SIC 329/326/328) qui possèdent le plus grand nombre de machines.

^{45/} Rapport du Professeur Camagni, Meeting of International Experts for a Programme of Industrial Automation of the Capital Goods Industry of Latin America, ONUDI, Vienne, décembre 1989.

^{46/} R. Schultz-Wild et al.: An der Schwelle zu CIM Köln, RKW Verlag, cité dans K-H Ebel: Computer Integrated Manufacturing, OIT Genève 1990.

Tableau 32 : Diffusion du stock de MOCN par secteur
(Japon, Etats-Unis d'Amérique)
(en unités)

	Japon		Etats-Unis
	1981	1987	1988
Enlèvement de métal			
Machines générales	11810	26267	115432
Machines électriques	3611	11566	25055
Matériel de transport	6017	20579	45865
Machines de précision	1796	3347	2713
Produits métalliques			14899
Divers	2430	4407	504
	25664	66166	204468
Déformation de métal			
Machines générales	392	1030	6558
Machines électriques	656	1243	5153
Matériel de transport	262	972	2698
Machines de précision	24	82	134
Produits métalliques			3130
Divers	395	762	215
	1729	4089	17888

Le sous-secteur des machines-outils, qui a ouvert la voie en ce qui concerne l'acquisition de machines à CN (dont 16% ont été acquis dans les années 1967-1976) a continué d'investir considérablement dans la commande numérique, avec 61% du parc installé depuis 1981.

Les entreprises constructrices de véhicules à moteur et de pièces de véhicules à moteur, où les chaînes de transfert et les machines spécialisées étaient partout présentes, ont acquis des systèmes à commande numérique pour satisfaire aux nouveaux impératifs technologiques en matière de flexibilité. L'industrie aérospatiale était celle comptant la plus grande proportion de machines à CN (11,6%) dans son parc installé.

La fabrication de produits métalliques, où les petites et moyennes entreprises sont nombreuses, est le secteur dans lequel la diffusion des machines à CN a été la plus rapide, avec 82% des acquisitions faites entre 1982 et 1986.

Pour une analyse économique de l'impact de la CN, il convient de tenir compte des caractéristiques des différents sous-secteurs. Deux indicateurs ^{47/} peuvent être déterminés pour mesurer l'intensité de l'utilisation des MOCN, à savoir :

^{47/} Selon la méthodologie proposée par Edquist et Jacobson dans Flexible Automation: the global diffusion of new technology in the engineering industry, 1988.

Tableau 33 : Diffusion sectorielle des MOCN au Royaume-Uni (en 1987)

	Nombre de MOCN	Part en % du stock total de MOCN	Nombre total de machines- outils	Part en % du stock total de machines- outils	Valeur ajoutée* 1986	(6)	(7)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)/(5)	(2)/(4)
Ponderie, forge, emboutissage	1738	3,4%	42426	5,6%	1168	1,5	0,56
Boulonnerie, ressorts, etc.	826	1,6%	23795	3,1%	533	1,5	0,47
Portes et fenêtres métalliques	4897	9,7%	107276	14,2%	2596	1,9	0,62
<u>Manufacture de produits métalliques</u>	7461	14,8%	173497	22,9%			
Installations industrielles, aciéries	985	1,9%	26765	3,5%	1417	0,7	0,50
Machines-outils et constructions							
mécaniques	2953	5,8%	46605	6,2%	800	3,7	0,87
Machines agricoles	2603	5,2%	40130	5,3%	1576	1,7	0,89
Machines textiles, alimentaires, chimiques	3333	6,6%	43551	5,6%	1703	2,0	1,05
Matériel militaire, transports, mécanique	14188	18,1%	169026	22,3%	2862	5,0	1,15
<u>Matériels mécaniques</u>	24062	47,6%	326077	43,1%			
Equipements et appareils électriques	3163	6,3%	61964	8,2%	2298	1,4	0,70
Electronique, télécommunications	4105	8,1%	43865	5,8%	4682	0,9	1,28
<u>Electricité et électronique</u>	7268	14,4%	105829	14,0%			
Véhicules à moteur et parties de véhicules	4492	8,9%	70268	9,3%	4308	1,0	0,87
Aérospatiale	4053	8,0%	34979	4,6%	3378	1,2	1,58
Equipement de transport	1046	2,1%	18486	2,4%	749	1,4	0,77
<u>Autres équipements de transport</u>	5099	10,1%	53465	7,1%			
Instrumentation	2141	4,2%	27247	3,6%	669	3,2	1,17
TOTAL	50523	100,0%	756383	100,0%	28739	1,8	1

Sources : Les colonnes (1) et (3) sont tirées de la Sixième enquête sur les machines-outils et le matériel de production en Grande-Bretagne, publiée par Metal Working Production, 1988.

* En millions de livres sterling.

Tableau 34 : Données sur la diffusion des MOCN en France

	Nombre de MOCN	Part en % du stock total de MOCN	Nombre total de machines- outils	Part en % du stock total de machines- outils	Valeur ajoutée* 1986	(6)	(7)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)/(5)	(2)/(4)
Fonderie	580	1,67	13228	2,15	13,93	41,6	0,78
Matériel de construction	11678	33,62	190599	30,98	68,98	169,3	1,09
Machines agricoles	505	1,45	13178	2,14	7,41	68,1	0,58
Machines-outils	2781	8,01	33995	5,53	8,39	331,3	1,45
Machines pour les industries générales	5856	16,86	91140	14,82	73,49	79,7	1,14
Machines industrielles	1164	3,35	19831	3,22	123,75	9,4	1,04
Machines électriques	2537	7,30	40378	6,56	37,02	68,5	1,11
Electronique	1799	5,18	30733	5,00	54,74	32,9	1,04
Véhicules à moteur	3867	11,13	116105	16,87	81,13	47,7	0,59
Chemins de fer	236	0,68	2946	0,48	4,08	57,8	1,42
Construction et réparation navales	102	0,29	4737	0,77	6,10	16,7	0,38
Aéronautique	1904	5,48	23834	3,87	21,91	86,9	1,41
Matériels professionnels et scientifiques	1726	4,97	34436	5,60	20,82	82,9	0,89
TOTAL*	34735	100,00	615140	100,00	521,75	66,6	1

Compilation de données de l'inventaire du BIPE, 1987.

i) La part moyenne des MOCN dans le stock total de machines-outils du sous-secteur c'est-à-dire le rapport entre le nombre de MOCN installées dans ce sous-secteur et le nombre total de machines-outils installées dans le même sous-secteur. Ce rapport indique la probabilité du choix des MOCN au lieu d'autres machines-outils dans le sous-secteur.

ii) Le rapport entre le nombre de MOCN installées et la valeur de la production (valeur ajoutée) du sous-secteur, qui est un indicateur de l'importance des MOCN dans le processus d'addition de valeur.

Les sous-secteurs sont décrits sur un plan (figure 28) où l'axe vertical indique la part normale des MOCN et l'axe horizontal le nombre de MOCN en fonction de la valeur ajoutée. Plus les indications sont décalées vers la droite et vers le haut, plus l'impact des MOCN est grand.

- Les trois sous-secteurs du quadrant supérieur droit concernent respectivement les machines de l'industrie textile et alimentaire, l'instrumentation, le matériel militaire et le matériel de transport.
- Dans le quadrant supérieur gauche, se trouvent des secteurs à forte intensité de MOCN mais où l'usinage joue un rôle mineur, ce qui est le cas de l'électronique et de l'aérospatiale.
- Dans le quadrant inférieur droit, se trouvent les machines-outils, les machines agricoles et les portes et fenêtres métalliques.

- Dans le quadrant inférieur gauche figurent les sous-secteurs peu affectés par l'automatisation : les entreprises industrielles et les aciéries, les fonderies et ateliers d'emboutissage, les équipements et appareils électriques, les véhicules à moteur et parties de ces véhicules.

L'étude des machines-outils en France prend en considération 13 sous-secteurs correspondant à la classification française 48/ (tableau 34).

La majorité des machines-outils et MOCN sont installées dans le secteur des produits métalliques, et viennent ensuite les industries des véhicules à moteur et des machines pour les industries générales.

Le sous-secteur des machines-outils, qui a ouvert la voie en ce qui concerne l'acquisition de machines-outils à CN (dont 16% ont été achetées dans les années 1967-1976) a continué d'investir fortement dans la commande numérique, avec 61% du parc installé depuis 1981.

La fabrication de produits métalliques, où les petites et moyennes entreprises sont nombreuses est le secteur où la diffusion des machines à commande numérique a été la plus rapide (82% des acquisitions entre 1982 et 1986).

La figure 29, fondée sur la méthodologie indiquée plus haut, illustre la diffusion de la CN dans les différentes branches de l'industrie :

- Les sous-secteurs du quadrant supérieur droit sont l'industrie de la machine-outil, celle des produits métalliques, celle de l'aéronautique et celle des machines pour l'industrie générale.
- Dans le quadrant supérieur gauche figurent l'électronique et le matériel ferroviaire.
- Dans le quadrant inférieur droit figurent les instruments et les machines agricoles.
- Dans le quadrant inférieur gauche figurent les fonderies, le matériel électrique, les véhicules à moteur et la construction navale.

Les tendances de la diffusion sectorielle des MOCN au Japon, qui joue un rôle déterminant dans la compétitivité industrielle, présente un grand intérêt pour tous les pays.

La plupart des MOCN (tableau 35) sont installées dans l'industrie des véhicules à moteur (29% en 1987), puis viennent les machines pour les industries générales (pompes, convoyeurs, appareils de conditionnement d'air, ascenseurs, etc.) et les machines à métaux et à bois (dont l'industrie de la machine-outil). C'est dans le cadre des autres produits métalliques (produits de boulonnerie), puis dans l'industrie de la machine-outil et dans les industries photographiques et optiques que l'on trouve la plus grande part de MOCN parmi les machines installées dans les différents secteurs. Les secteurs où les machines à CN sont relativement nombreuses sont notamment

Figure 28 : Diffusion des machines-outils à commande numérique dans les industries du Royaume-Uni

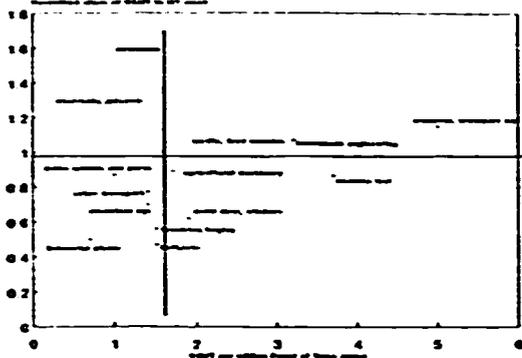


Figure 29 : Diffusion des machines-outils à commande numérique en France en 1987

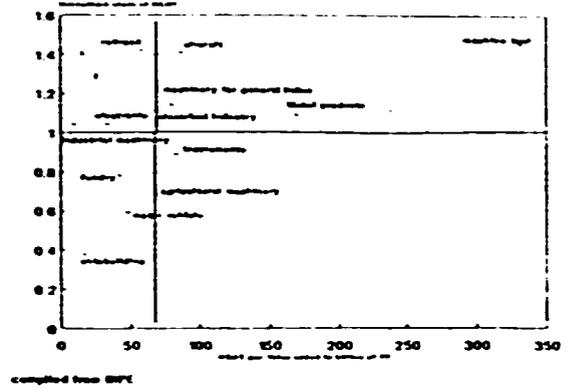


Figure 30 : Diffusion des machines-outils à commande numérique au Japon

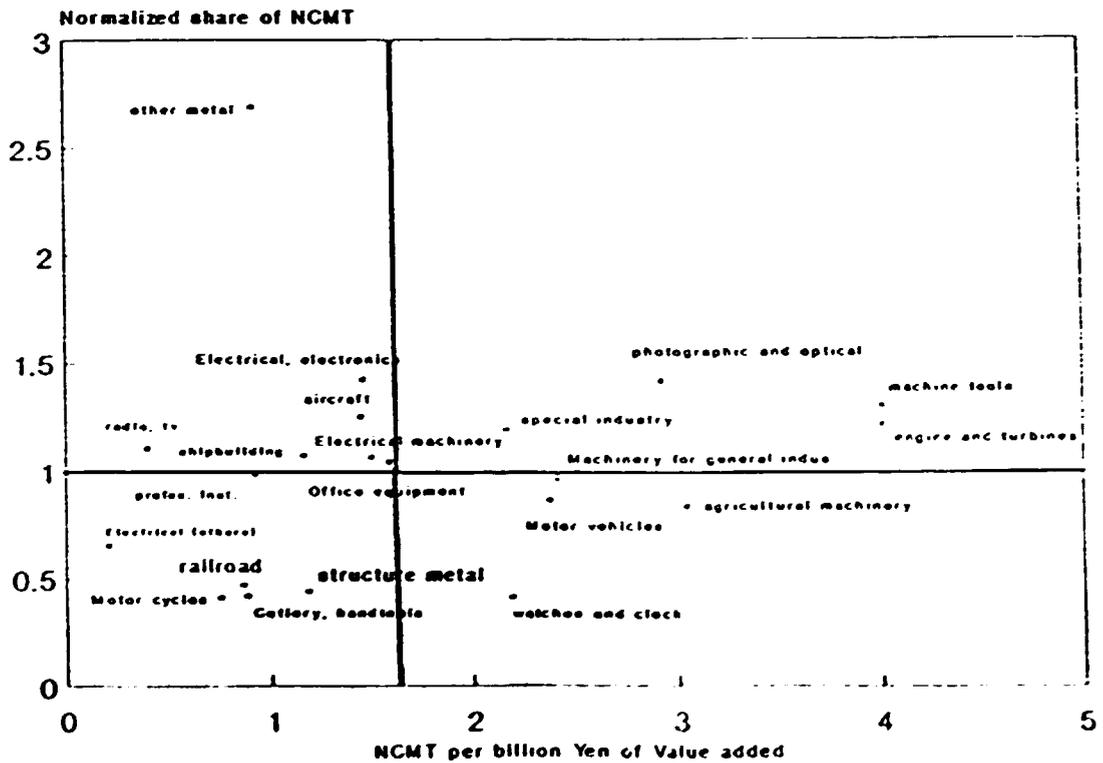


Tableau 35 : Données sur la diffusion des MOCN au Japon

	Nombre de MOCN	Part en % du stock total de MOCN	Nombre total de machines- outils	Part en % du stock total de machines- outils	Valeur ajoutée* 1986	(6)	(7)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)/(5)	(2)/(4)
Coutellerie, outils à main, quincaillerie générale	361	0,53	7745	1,26	408	0,88	0,42
Meubles et équipements fixes		0		0			
Matériaux de construction							
métalliques	258	0,38	5223	0,85	219	1,18	0,44
Autres produits métalliques	2846	4,15	9437	1,54	3108	0,92	2,69
Moteurs et turbines	1607	2,34	11897	1,94	401	4,01	1,21
Machines agricoles	1114	1,62	11935	1,95	366	3,04	0,83
Machines à métaux et à bois	7083	10,32	48636	7,94	1766	4,01	1,30
Machines industrielles spécialisées	4875	7,10	36437	5,95	2245	2,17	1,19
Machines de bureau et ordinateurs	5135	7,48	44067	7,19	3222	1,59	1,04
Machines pour les industries							
générales	10872	15,84	100948	16,47	4490	2,42	0,96
Machines électriques	3712	5,41	31333	5,11	2479	1,50	1,06
Radio, télévision et communications	3355	4,89	27174	4,43	8592	0,39	1,10
Appareils électriques et							
électroniques	2332	3,40	14700	2,40	1597	1,46	1,42
Appareils électriques, autres	407	0,59	5621	0,92	2073	0,20	0,65
Construction et réparation navales	809	1,18	6764	1,10	699	1,16	1,07
Chemins de fer	100	0,15	1882	0,31	116	0,86	0,47
Véhicules à moteur	20123	29,31	210090	34,28	8455	2,38	0,86
Motocycles	106	0,15	2322	0,38	141	0,75	0,41
Aéronefs	399	0,58	2845	0,46	276	1,45	1,25
Équipement professionnel et							
scientifique	595	0,87	5439	0,89	648	0,92	0,98
Matériel photographie et optique	1775	2,59	11261	1,84	607	2,92	1,41
Articles d'horlogerie	790	1,15	17115	2,79	361	2,19	0,41
TOTAL*	68654	100,00	612871	100,00	42269	1,62	1

Compilation à partir de l'inventaire du MITI

* Les différences entre les totaux des MOCN et des MO sont dues à des problèmes de conversion entre la CITI et les codes industriels japonais.

Tableau 36 : Evolution du stock de machines-outils à CN/CNC (milliers)

	Etats-Unis	URSS	Japon	Italie	RFA	Royaume-Uni	France
vers 1970	20	11	5	1	2	3	
vers 1975	40		14	3			4
vers 1980				11	25		10
vers 1985	103			55	64		35
estimations pour 1990	240		100	100	100	80	60

l'aéronautique, la construction de moteurs et turbines, les équipements industriels spéciaux, l'électronique de consommation et les équipements de bureau et d'informatique.

La figure 30 illustre l'impact des MOCN dans les différents sous-secteurs:

- Les sous-secteurs du quadrant supérieur droit concernent les machines à métaux et à bois (y compris les machines-outils), les moteurs et turbines, les équipements photographiques et optiques, les machines industrielles spéciales et les machines destinées à des équipements généraux.
- Dans le secteur supérieur gauche, figurent les sous-secteurs ayant une forte intensité d'utilisation des MOCN, mais où l'usinage joue un rôle relativement mineur : tel est également le cas des autres produits métalliques, de l'électronique de consommation, des appareils et dispositifs électriques et de la construction navale.
- Dans le quadrant inférieur droit figurent les machines agricoles, les véhicules à moteur, et les articles d'horlogerie.
- Dans le quadrant supérieur gauche figurent les sous-secteurs peu affectés par l'automatisation : la coutellerie et l'outillage à main, les produits métalliques de construction, les motocycles, les équipements ferroviaires et les appareils électriques.

La prudence s'impose si l'on veut tirer les conclusions de ces trois exemples. La position de chaque sous-secteur dépend du pays considéré, le degré d'automatisation étant plus élevé au Japon qu'au Royaume-Uni. Néanmoins, certaines conclusions similaires peuvent être tirées en ce qui concerne les industries moins affectées par l'automatisation; notamment les outils à main, les appareils électriques et les produits métalliques de construction, qui figurent parmi les secteurs les plus communs de la construction mécanique dans les pays en développement.

L'industrie de la machine-outil est l'un des secteurs de l'industrie mécanique où la diffusion de la CN aura l'impact le plus prononcé.

2.4. Prévision pour les années 1990

Le tableau 36 fournit une estimation de la population de MOCN en 1990. On voit que les taux de progression des machines à CNC ont varié de 10 à 20% par an. Les machines-outils à CN sont surtout nombreuses aux Etats-Unis, mais c'est apparemment en Italie que leur part est la plus grande dans le nombre total de machines-outils (15%), puis viennent la France, le Japon (10,7% et 13,4% des machines-outils fonctionnant par enlèvement de métal). Selon le dernier inventaire japonais (1987), le taux d'installation des machines-outils les plus récentes a commencé à baisser 49/.

49/ En 1988 et 1989, les ventes intérieures de machines-outils à CN ont atteint 70 000, le taux de remplacement étant de 78%.

Encadré 14 : La diffusion de la CN dans l'industrie de la machine-outil

Alors qu'en général l'automatisation flexible stimule la compétitivité des petites entreprises, les modifications affectant la répartition par taille dans les industries spécialisées comme celles des machines-outils tendent parfois à jouer en faveur des plus grandes en raison des indivisibilités de la R-D et des économies de fonctions autorisées par les systèmes électroniques de fabrication flexible.

L'inventaire du Japon illustre l'introduction de la MOCN dans l'industrie des machines-outils. La productivité a été fortement stimulée et les séries de production sont longues selon les critères occidentaux. Les entreprises japonaises sont considérées comme pionnières des techniques de production de masse dans l'industrie de la machine-outil. Par exemple, en 1984 Star Micronics construisait 50 tours à chariot porte-broche par mois avec 230 salariés; en 1988, une nouvelle usine équipée de 100 machines-outils (à 80% à CN) produisait 100 machines avec 63 salariés, avec un objectif de capacité de 130 unités par mois, ce qui représente un décuplement de la productivité.

Les changements sur le plan de l'organisation se sont manifestés par l'introduction de la construction modulaire, stimulée par la nécessité dans laquelle se trouve l'industrie métallurgique d'usiner une large gamme de pièces en séries petites et grandes, avec la capacité de passer rapidement d'une famille de pièces à une autre, ce qui est plus facile à obtenir avec un système permettant diverses configurations de systèmes d'usinage à partir d'une gamme de modules standards que par l'utilisation d'organes de machines rigides. Des résultats remarquables ont été obtenus dans l'utilisation d'unités modulaires pour la construction de machines à rectifier en vue de la production en grande série, mais une application plus large du concept, englobant les tours, les fraiseuses et les machines à percer reste à établir. A mesure qu'un plus grand nombre d'industries s'orienteront vers la technologie de groupe, les constructeurs de machines-outils recourront plus fréquemment aux concepts de construction modulaires, qui permettent de réduire les temps d'exécution, de donner une plus grande flexibilité à la configuration finale de la machine, de réduire les stocks et d'allonger les séries.

La diffusion de la CN, comme celle de toute autre innovation technologique, peut être illustrée par une courbe en S dans laquelle les trois parties constitutives sont : l'expansion initiale (courbe montante), la zone de transition (point d'inflexion) et la saturation (courbe descendante) 50/. Cette structure peut être utilisée pour prévoir 51/ l'efficacité maximale de la technologie et son point de saturation mesuré en pourcentage du nombre total de machines-outils installées.

Les prévisions fondées sur les statistiques de l'inventaire se sont révélées peu fiables 52/; afin de tourner la difficulté, des méthodes fondées sur les données de consommation ont été utilisées : on a pu constater 53/ que l'évolution de la part de la CN dans la consommation pouvait être considérée comme un indice essentiel de l'évolution de la part de la CN dans la capacité installée et que le niveau de saturation de la CN dans la capacité installée était égal à celui de la consommation avec certains décalages dans le temps.

- Se fondant sur la part de la CN dans la production de machines-outils 54/, de 1970 à 1988, on a prévu 55/ que le niveau de saturation se situerait à 34% pour les machines à enlèvement de métal; en procédant à des estimations pour les années de remplacement, on a pu constater que la part de la CN dans le total des machines installées connaîtra son plus fort accroissement de 1985 à 1995 et approchera le niveau de saturation après 2000 (figure 31) avec 34% des machines installées utilisant la CN. Dans les entreprises employant plus de 50 salariés, la part de la CN dans le total des machines installées pourrait aller jusqu'à 40% environ.
- Si l'on applique la même méthodologie aux données de consommation des Etats-Unis, la même structure de diffusion, avec un certain décalage dans le temps avec le Japon, est observée. Il apparaît que la capacité installée de machines à CN pourrait atteindre 30% en 2005.

Ces prévisions signifient que la diffusion des machines-outils à CN atteindra son maximum d'intensité dans la prochaine décennie, et devrait avoir un impact significatif dans les années à venir sur la compétitivité au sein des industries mécaniques .

50/ Plusieurs équations peuvent être utilisées pour représenter cette évolution, et notamment l'équation de Pearl où $D(t)=1/(1+Ae^{-kt})$ et celle de Bertalanffy $D(t)=(1+Ae^{-kt})^{-3}$. Dans chacune de ces expressions, A peut être interprété comme la valeur de D(0) tandis que k mesure le dynamisme considéré dans le temps.

51/ P.F. Gonod: "Technological forecasting: principles and analysis of methods" IPCT(107) SPEC, ONUDI février 1990.

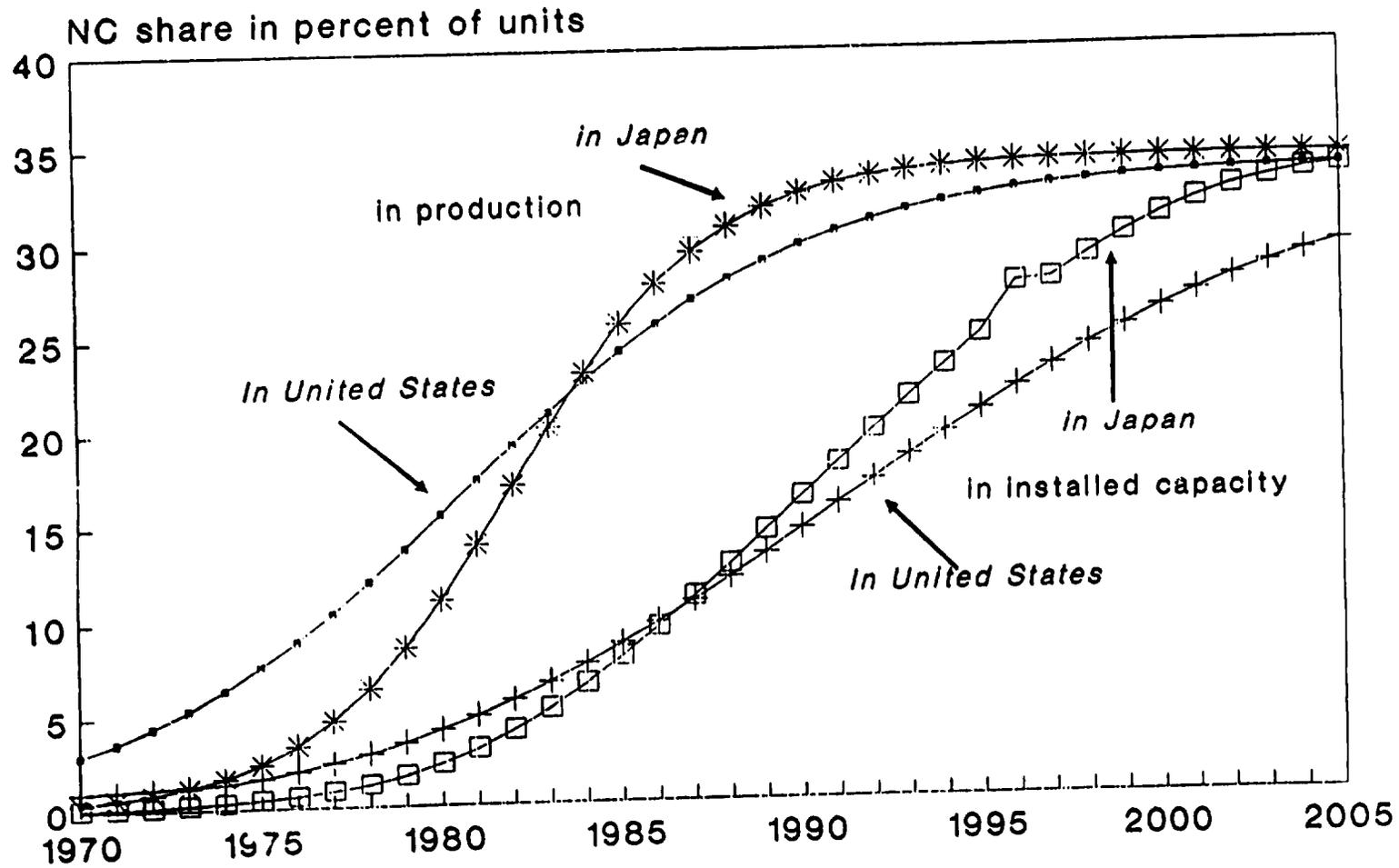
52/ Tchijov I. "CIM diffusion, the case of NC machine in the US metal working industries" IIASA WP-87-77 septembre 1987.

53/ A. Tani: "Saturation level of NC machine-tool diffusion" dans JP. Ranta, editor: "Trends and impacts of Computer integrated manufacturing" Proceedings of the second IIASA annual workshop on Computer Integrated Manufacturing: Future trends and impacts IIASA Laxenburg 1989.

54/ Qui est très proche de celle de la CN dans la consommation.

55/ A. Tani: "Saturation level of NC machine-tool diffusion" in J.P. Ranta, editor: "Trends and impacts of Computer integrated manufacturing" Proceedings of the second IIASA annual workshop on Computer Integrated Manufacturing: Future trends and impacts IIASA Laxenburg 1989.

Figure 31 : Prédiction de la part de la CN dans la production et l'installation de machines-outils fonctionnant par enlèvement de métal



For Japan: IIASA; for USA Computed

3. Intégration des systèmes

Tandis qu'une machine-outil à CN représente une innovation au niveau de la substitution, le système flexible de fabrication apparaît comme une innovation radicale, un moyen de réaliser de nouvelles choses. Les gains réalisables par l'intégration systémique des machines à CN sont de beaucoup supérieurs à ceux réalisés par l'addition d'équipements fonctionnant d'une façon isolée, et l'on a parfois dit qu'un système flexible de fabrication constituait une usine en miniature 56/.

3.1. Cellules et systèmes flexibles de fabrication

La plupart des définitions (encadrés 15 et 16) distinguent les systèmes selon le nombre de machines reliées par les systèmes de manutention des matériaux et selon leur capacité à répondre aux besoins multiples de traitement de pièces de formes et dimensions différentes.

Cependant, le nombre des machines utilisées dans un système ne peut pas être considéré comme un critère unique permettant de distinguer une cellule flexible de fabrication et un système flexible de fabrication. Ces deux systèmes fonctionnent selon des principes tout à fait différents (figure 32).

- La cellule flexible de fabrication fonctionne selon un principe de synchronisation : à tout moment, plusieurs machines usinent la pièce en préparation.
- Le système flexible de fabrication fonctionne selon un principe de coordination : chacune des machines usine la pièce considérée à un moment donné. Le transfert entre les différentes machines peut être organisé selon deux principes :
 - celui du flux : la pièce va d'une machine à l'autre comme sur une chaîne de transfert
 - celui de la pièce à façon : il est alors possible de combiner de diverses manières l'utilisation des machines.

3.1.1. Les cellules flexibles de fabrication

La tendance à l'utilisation de cellules flexibles de fabrication est stimulée par l'accroissement de puissance réalisé sur les machines dites multifonctions ("one-hit"). La meilleure illustration est le centre de tournage, qui permet une seconde opération, comme le mortaisage, le fraisage et le perçage; les centres de fraisage/usinage ont été dotés de capacités de tournage.

56/ Bessant à la réunion des experts internationaux sur un programme pour l'automatisation industrielle du secteur des biens de capital en Amérique latine.

Encadré 15 : Systèmes flexibles de fabrication et centres flexibles de fabrication : définitions

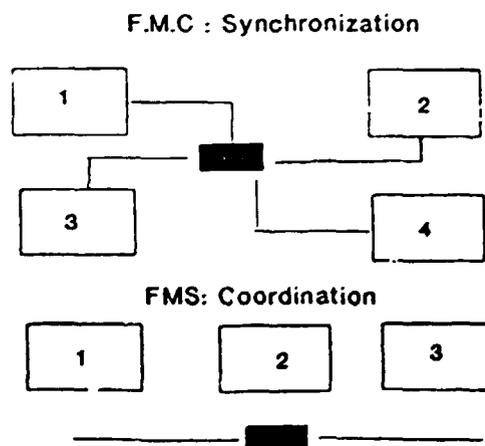
Un module flexible de fabrication comprend une machine-outil à commande numérique utilisée isolément, un matériel de manutention composé de robots ou un chargeur de palettes et un type quelconque de système de surveillance. Le module flexible de fabrication peut lui-même être incorporé à un module d'un système plus vaste.

On entend par cellule flexible de fabrication un ensemble formé d'au moins deux machines classiques et/ou à commande numérique, avec un dispositif de manutention tel qu'un robot desservant un certain nombre de machines-outils disposées en ligne ou en cercle, ou des chargeurs automatiques de palettes associés à un système de transport automatique entre les MOCN.

Les systèmes flexibles de fabrication comprennent plusieurs machines-outils automatisées du type universel ou d'un type spécialisé et/ou des cellules flexibles de fabrication et, si nécessaire, un certain nombre de postes de travail manuels ou automatisés. Ces organes sont reliés par un système automatique de flux de pièces de façon à permettre l'usinage simultané de différentes pièces qui traversent le système selon différents cheminements.

Les chaînes flexibles de transfert contiennent plusieurs machines-outils automatisées, universelles ou spécialisées, complétées si besoin est par des postes de travail automatisés, le tout relié par un système automatique de flux de pièces fondé sur le principe de la chaîne. Une chaîne flexible de transfert est capable d'usiner simultanément ou d'une façon séquentielle différentes pièces qui parcourent le système selon un même cheminement.

Figure 32 : Cellules et systèmes flexibles de fabrication



Encadré 16 : Description d'un système de fabrication flexible

Dans la plupart des installations à système flexible de fabrication, les pièces brutes arrivent à un poste de travail où elles sont positionnées sur des supports fixés à des palettes. Une fois les informations introduites, le superviseur du système flexible de fabrication (ordinateur) entre en jeu, et accomplit toutes les opérations nécessaires jusqu'à leur achèvement.

Le superviseur envoie d'abord un transporteur à la station de chargement/déchargement pour prendre une palette. La palette chargée effectue ensuite des boucles jusqu'à ce qu'une machine devienne disponible pour accomplir la première opération. Lorsqu'une position dans la file d'attente devient disponible, le transporteur s'arrête et un mécanisme de transfert enlève la palette.

Les pièces reçues par une machine doivent être positionnées avec précision par rapport à l'axe de la machine-outil. La détermination de ce positionnement peut être faite manuellement, au moyen d'instruments standards, ou au moyen de machines de mesure de coordonnées. Les déplacements requis pour l'usinage sont calculés à partir des mesures et communiqués au superviseur.

Entre-temps, le superviseur détermine si tous les outils requis pour les opérations d'usinage sont présents dans le chargeur à outils et demande les outils indispensables soit à un dépôt extérieur au système soit à un dispositif de stockage (râtelier ou chaîne à outils) incorporé au système. Une fois chargés tous les outils nécessaires, le superviseur transfère la routine de CN au dispositif de commande de la machine depuis l'ordinateur de la commande du système flexible de fabrication.

Le processus visant à faire en sorte que la pièce est en fait telle que prévu par l'ordinateur est désigné sous le terme de "qualification" de la pièce : il inclut les contrôles à faire pour s'assurer que toutes les opérations précédentes ont été effectuées, que la pièce est située à l'intérieur des tolérances, et qu'elle est positionnée d'une façon précise.

Une fois achevées les activités de réglage, l'usinage commence. Le système flexible de fabrication surveille l'outil durant le processus. Si l'outil se brise, une procédure de dépannage est mise en oeuvre. Toutes les corrections nécessaires sont effectuées durant l'usinage. La commande adaptative dans les systèmes flexibles d'usinage est encore très rudimentaire et techniquement très difficile à réaliser avec la technologie d'aujourd'hui.

La pièce finie ou usinée est ensuite amenée au va-et-vient pour attendre un transporteur. Après chargement sur celui-ci, la palette est dirigée vers l'opération suivante, circule dans le système, ou est déchargée à un point de stockage intermédiaire jusqu'à ce que la machine requise pour l'opération suivante devienne disponible.

L'ordinateur coordonne les cycles et collecte à chaque station des données statistiques et autres qu'il communique aux systèmes d'affichage.

Texte adapté de l'étude de Jaikumar : "Japanese flexible manufacturing systems, impact on the United States, Japan and the world economy" dans International Journal of Theory and Policy, volume 1, numéro 2 1989.

Tableau 37 : Diffusion des centres d'usinage, en unités

	1983	1987	1988
Japon		14610	
Etats-Unis	24000		53585
Royaume-Uni	4902	10354	

Sources : Rapports sur les inventaires nationaux.

Le nombre de centres d'usinage est l'un des indicateurs de la diffusion des cellules de fabrication flexible. Aux Etats-Unis d'Amérique, elles sont passées de 17 000 en 1978 à 24 000 en 1983, et depuis leur nombre a considérablement augmenté, atteignant 53 585 en 1988 57/; une progression analogue a été enregistrée au Royaume-Uni (5 900 à 10 500), et au Japon le total se chiffrait à 14 000 en 1987 (tableau 37).

3.1.2. Les systèmes flexibles de fabrication (SFF)

En raison de la diversité des définitions et des inexactitudes dans la collecte internationale des données, les estimations du stock de systèmes de fabrication souple varient largement, et l'on ne dispose pas de données très documentées sur leur diffusion. Le nombre total de systèmes installés est passé de 80 en 1980 à 1 200 en 1989, et selon les projections de l'IIASA 58/, il pourrait atteindre 3 000 en l'an 2000. La plupart des systèmes installés ont au moins deux machines à CNC, et l'on peut estimer que le stock total représente moins de un % des installations à CNC dans le monde entier.

Le premier système flexible de fabrication a été construit aux Etats-Unis d'Amérique en 1970, et jusqu'en 1982 la capacité installée a augmenté d'une façon continue mais non spectaculaire; par la suite, le nombre de systèmes utilisés a doublé pour atteindre 200 en 1984 59/. En 1984, les ventes de systèmes flexibles de fabrication se chiffraient à 120 millions de dollars (dont la moitié en Europe) et en 1988 l'industrie européenne dépensait 620 millions de dollars à ce titre. Selon Frost & Sullivan, le montant total des ventes pourrait atteindre le milliard de dollars en 1991 60/.

Selon l'IIASA, le nombre total de SFF était estimé à 1200 en 1989 (tableau 38). Les deux principaux utilisateurs étaient le Japon (167) et les Etats-Unis (137), puis venaient l'Allemagne (RFA), le Royaume-Uni et la France.

57/ Pour la période 1988-1993, le marché des centres d'usinage devrait progresser de 5,3% par an, pour atteindre le chiffre de 700 millions de dollars EU en 1993.

58/ Dans ECE Seminar on CIM, Sofia, septembre 1989.

59/ J. Bessant, B. Haywood, H. Rush Integrated automation in batch manufacturing. Document établi pour l'OCDE, Direction de la science, de la technique et de l'industrie, Paris, 1987.

60/ Metalworking Production: "Europe to treble FMS by 1991", février 1988.

Tableau 38 : Répartition des systèmes flexibles de fabrication
entièrement intégrés
Estimations (unités)

	1980	1983	1985	1987	1988	1989	2000 (projection)
Japon	28	135		254		167	
Etats-Unis	6-14	15-31				137	
Royaume-Uni	3	4				93	
Allemagne (RFA)	10	13				74	
France	2	13				67	
URSS						56	
Italie		12			25	37	
Suède						36	
Rép. dém. allemande			11			28	
Tchécoslovaquie						23	
Monde (estimation)	80	>100				1200	3000

Sources : 1980-1983 : Bessant
Japon : 7e inventaire
Italie : Technovation, 9 (1989), p. 497
IIASA FMS World Data Bank (1989).

Tableau 39 : Distribution sectorielle des systèmes flexibles
de fabrication

<u>au Japon</u>			
machines générales	169	67%	
machines électriques	42	17%	
matériel de transport	39	16%	
divers	1	0%	
	251		
<u>en Europe</u>			
	Royaume-Uni	Suède	Allemagne (RFA)
construction de machines	26%	38%	69%
véhicules à moteur et moteurs	30%	16%	4%
aérospatiale	12%		4%
électronique électrique	8%	8%	
sous-traitance	24%	38%	6%
	100%	100%	83%

Source : Haywood et Bessant 1987.
MITI 1987.

La diffusion des systèmes flexibles de fabrication a tendu à se limiter à certaines industries (tableau 39) où ils effectuent une gamme étroite d'opérations de production d'éléments particuliers (par exemple la construction de moteurs et de transmissions pour automobiles). Ces industries demeurent les principaux débouchés pour ces systèmes. Selon l'IIASA, la moitié environ des systèmes installés sont utilisés dans le matériel de transport (automobiles, tracteurs et aérospatiale), le second domaine d'utilisation étant celui des machines non électriques (surtout de la construction de machines) et le troisième celui des machines électriques. En URSS, la moitié des systèmes de fabrication flexible soviétiques est utilisée dans l'industrie des machines-outils elle-même, 25% dans l'industrie automobile et 10% dans celle des machines électriques 61/.

L'industrie des véhicules à moteur domine les ventes prévues sur la base des propositions actuelles. Les pièces ainsi manufacturées sont les têtes de cylindres, les protecteurs de tambours de freins et les composants de moteurs. On note une certaine extension du domaine d'utilisation des systèmes flexibles de fabrication au montage en Italie, au Japon et aux Etats-Unis d'Amérique, ce qui introduit les systèmes de fabrication flexible dans le plus vaste domaine d'activité 62/. De nouveaux groupes d'utilisateurs apparaissent aussi dans des secteurs comme ceux des pompes, des composants pour la construction navale, des valves et des outils à main. Les acquisitions de systèmes flexibles de fabrication sont restreintes aux grandes entreprises, mais la diffusion parmi les entreprises sous-traitantes a commencé dans les pays industrialisés.

Lorsqu'ils sont bien utilisés, les systèmes flexibles de fabrication peuvent réduire considérablement les coûts de production par suite d'une utilisation plus intensive des machines, d'une réduction des temps de réglage et des temps menants (durée de l'usinage nécessaire pour achever une opération d'enlèvement de métal), et d'économies sur les stocks, les travaux en cours, le capital employé et les coûts de main-d'oeuvre.

Dans son étude détaillée de 95 systèmes flexibles de fabrication installés aux Etats-Unis et au Japon, Jaikumar 63/ compare le rendement d'une usine japonaise avant et après l'introduction de l'automatisation flexible totale (tableau 40) :

- le temps moyen de transformation par pièce diminue de trois fois
- l'espace occupé a diminué de 2,5 fois
- les besoins en personnel sur 3 postes ont diminué considérablement, de 195 à 39.

61/ S. Sipos et H. Sitarska: "Technological and organizational change: a challenge to Eastern Europe", IDS Bulletin 1989, vol. 20 numéro 4.

62/ Hoffman: "Technological Advance and Organizational innovation in the engineering industries", Industry Series Paper, numéro 4, mars 1989, Banque mondiale.

63/ R. Jaikumar: Post-industrial manufacturing Harvard Business Review novembre-décembre 1986.

Le tableau 41 indique les besoins en main-d'oeuvre de différents systèmes de machines à enlèvement de métal dans une usine américaine et une usine japonaise. Alors qu'il fallait 100 personnes dans une usine japonaise classique pour fabriquer un certain nombre de pièces, il en fallait 143 dans une usine classique des Etats-Unis pour fabriquer le même nombre de pièces identiques; cependant, il en faudrait seulement 43 dans une usine japonaise équipée de systèmes flexibles de fabrication. La réduction de main-d'oeuvre se manifeste surtout par la diminution des frais de fabrication, de 64 à 5, tandis que dans la construction mécanique le nombre d'ouvriers tombe de 34 à 16. Cette réduction se traduit notamment par l'évolution de la composition du personnel employé : dans une usine équipée d'un système flexible de fabrication, les ingénieurs sont trois fois plus nombreux que les ouvriers travaillant à la production. Cette situation marque une évolution fondamentale dans l'environnement de l'industrie manufacturière : "l'automatisation flexible déplace l'arène de la compétition de la conduite de l'usine à la planification" 64/.

La population de systèmes de fabrication flexible peut être répartie en deux groupes importants : les systèmes "bon marché" qui coûtent moins de 5 millions de dollars, et sont les plus largement utilisés et les systèmes "coûteux", dont le prix dépasse ce chiffre.

L'investissement dans les systèmes flexibles de fabrication est souvent un processus pénible, et les prévisions antérieures concernant leur diffusion se sont révélées excessivement optimistes, parce qu'elles sous-estimaient les éléments suivants :

- les problèmes techniques concernant le logiciel d'interface et l'organisation du réseau
- les problèmes d'organisation : un système flexible de fabrication ne peut pas être considéré comme un remède technologique à l'inefficacité d'une usine. Les grandes entreprises qui ont beaucoup investi dans l'automatisation des usines n'ont pas eu de mal à rendre ces systèmes rentables et techniquement fiables. Une étude comparative 65/ (tableau 42) a révélé qu'un système flexible de fabrication japonais typique était capable de produire près de 10 fois plus de pièces différentes que le système américain équivalent et que son taux d'utilisation (temps d'enlèvement de métal/temps total) se chiffrait à 84% au lieu de 52% aux Etats-Unis. Cette différence s'explique par la conception et l'exploitation du système. La mise au point des systèmes étudiés aux Etats-Unis a pris en moyenne 2,5 à 3 ans et environ 25 000 heures de spécialistes (conception, développement, installation et mise en marche) tandis qu'au Japon des tâches semblables ont nécessité 1,5 à 1,75 an et 6 000 heures de spécialistes. Contrairement à l'expérience japonaise, dans les entreprises américaines la conception était séparée de l'exécution; les conducteurs de machines qualifiés qui installaient les systèmes étaient remplacés par des conducteurs sous-qualifiés qui ne parvenaient pas à utiliser au mieux les capacités améliorées du SFF 66/.

64/ Jaikumar, Harvard Business Review.

65/ Jaikumar, Harvard Business School Review, 1985.

66/ Une enquête sur les SFF installés au Royaume-Uni a fait apparaître que 18 installations sur un total de 27 pouvaient être décrites comme des systèmes spécialisés. Machinery and Production, numéro du 75e anniversaire.

Tableau 40 : Rendement d'une usine japonaise avant et après l'introduction d'un système de fabrication flexible

	avant	après
Types de pièces	543	543
Nombre de pièces	1120	1120
Surface de plancher occupée (mètres carrés)	16500	6600
Équipement par système	90	43
Personnel par système (3 postes)	195	39
Durée moyenne de transformation en jours	91	30

Tableau 41 : Comparaison entre les besoins en main-d'oeuvre d'installations à enlèvement de métal pour la fabrication du même nombre de pièces aux Etats-Unis d'Amérique et au Japon

	système classique		système flexible de fabrication
	Etats-Unis	Japon	Japon
Ingénierie	34	18	16
Frais généraux de fabrication	64	22	5
Fabrication	52	28	6
Montage	44	32	16
Nombre total	194	100	43

Tableau 42 : Comparaison entre les systèmes flexibles de fabrication étudiés aux Etats-Unis et au Japon en 1984

	Etats-Unis	Japon
Durée de mise au point du système en nombre d'années	2,5 à 3	1,25 à 1,75
Nombre de machines par SFF	7	6
Types de pièces produites	10	93
Volume annuel par pièce	1727	258
Nombre de pièces produites par jour	88	120
Nombre de nouvelles pièces introduites par an	1	22
Nombre de systèmes fonctionnant sans intervention humaine	0	18
Taux d'utilisation (en deux postes)	52%	84%
Durée totale d'enlèvement de métal par jour (heures)	8,3	20,2

Source : R. Jaikumar, Post-industrial manufacturing
Harvard Business Review, novembre-décembre 1986.

- le problème du diagnostic des difficultés : un SFF a tous les problèmes communs aux machines à CN mais contrairement aux machines à CN utilisées isolément ne bénéficie pas de l'attention constante d'un ouvrier capable de remédier aux petites imperfections. Il peut s'avérer très difficile de déterminer la source d'un problème d'un dépassement de tolérances dans un SFF intégré 67/.

En raison de toutes ces difficultés, les entreprises se sont orientées vers une approche progressive, en commençant par les cellules flexibles de fabrication, constituant des "îlots d'automatisation", qui seront progressivement reliés par des systèmes de transport et de gestion de l'outillage pour former des SFF dans le cadre d'une opération globale de fabrication intégrée par ordinateur.

3.1.3. Fabrication intégrée par ordinateur

Les tendances technologiques telles que l'emploi de MOCN et de SFF étaient confinées au domaine de la fabrication, mais ce stade d'automatisation pourrait être suivi d'un autre concernant l'intégration entre la conception, la production et la gestion. La fabrication intégrée par ordinateur a été appliquée pour la première fois aux Etats-Unis d'Amérique à la fin des années 70 par Boeing, General Motors et d'autres entreprises.

Avec la conception intégrée par ordinateur, tous les microprocesseurs, robots et contrôleurs programmables d'une usine sont reliés par des réseaux qui envoient les informations provenant de toutes les étapes de la production à un ordinateur central 68/. Dans le département des études, la diffusion d'un système de CAO, d'abord utilisé pour la préparation des croquis, permet la conversion des idées et modifications en un ensemble complet de plans d'exécution. Ces systèmes peuvent engendrer les données nécessaires pour subvenir au besoin d'un dispositif de production commandé par ordinateur par le truchement de post-processeurs de CAO/FAO. De même, les diverses activités discrètes de gestion de production seront maintenant disponibles sous la forme de modules de séquence intégrée ou de logiciels de gestion utilisant la même base centrale de données. Le mouvement va au-delà de l'exploitation de l'entreprise elle-même et s'étend à son environnement, et peut englober la chaîne d'approvisionnement et le réseau de distribution et de commercialisation.

67/ Jaikumar : From filing and fitting to flexible manufacturing: a study in the evolution process control Harvard Business School working paper 1988-045.

68/ Nissan a élaboré sa propre version de la fabrication intégrée par ordinateur pour sa nouvelle voiture de luxe, l'Infiniti. Le système, appelé IBAS (Intelligent Body Assembly System, ou système intelligent de montage de carrosserie), est capable de détecter les défauts et d'envoyer des instructions en vue de réparations. Nissan se propose de construire des systèmes similaires dans ses usines de l'étranger (Fortune: Japan capital's spending spree, 9 avril, 1990).

Tableau 43 : Répartition estimative des investissements dans l'automatisation des usines

Millions de dollars	1985	1990	1995
Ordinateurs et logiciels d'usine	935	2500	6500
Systèmes de manutention des matériaux	2000	4500	8000
Machines-outils et dispositif de commande	3000	4800	7000
Contrôleurs programmables	50	550	3000
Robots et capteurs	65	660	2800
Transferts et équipements automatiques	800	2000	4000
Total des dépenses d'automatisation	6850	15010	31300

Source : Dataquest.

Le concept d'un environnement global de fabrication intégrée par ordinateur pourrait être exploité dans les années 1990 et au-delà pour aboutir à la réalisation d'un système intégré unique regroupant toutes les activités de l'entreprise 69/. Selon certaines estimations, le montant total des dépenses d'automatisation des usines pourrait s'élever à 30 milliards de dollars en 1995, le Japon et les Etats-Unis ouvrant la voie dans ce domaine. Une importante société d'automatisation des usines a prédit que 70% des entreprises japonaises, contre 30% en 1990, auraient "un genre ou un autre" de système de fabrication intégrée par ordinateur dans les dix années à venir 70/.

Une des contraintes les plus importantes en matière de diffusion de la fabrication intégrée par ordinateur est l'absence de normes de logiciel communes à l'ensemble de l'industrie. General Motors, qui est l'un des plus importants clients, a joué un rôle de pionnier avec le Manufacturing Automation Protocol (MAP) visant à relier des machines utilisées isolément, et compatible avec le Technical Office Protocol utilisé par Boeing. L'Organisation internationale de normalisation (ISO) s'emploie à faire adopter l'Open Systems Interconnection (OSI). Par ailleurs, une grande part de l'information requise dans le processus de production ne se prête pas au codage, au traitement informatique et à la transmission 71/.

69/ Le lancement par IBM de sa "multi-vendor CIM-architecture" est le plus manifeste des nombreux facteurs confirmant que l'intégration peut se réaliser graduellement.

70/ Fortune: Japan capital's spending spree, 9 avril 1990.

71/ K.H. Ebel: Computer integrated manufacturing, the social dimension, OIT, Genève, p. 30-33.

Les avis des experts divergent quant aux conséquences ultimes de l'automatisation. L'introduction de l'usine sans personnel, décrite pour la première fois en 1949 par N. Wiener ^{72/} était prévue pour le début des années 70. Quarante ans plus tard, l'usine sans personnel est encore du domaine de l'imagination ^{73/}. Les gestionnaires qui rêvaient de remplacer les travailleurs humains par des robots ou des machines à CNC s'aperçoivent qu'à mesure que les machines deviennent plus sophistiquées, le problème de la recherche de travailleurs qualifiés ne disparaît nullement. L'idée que la fabrication classique se meurt en raison de l'automatisation paraît mythique: "l'automatisation est une grande chose si l'on dispose d'un personnel pour l'exploiter et la penser" ^{74/}. Il apparaît que la vision technocentrique de l'usine du futur conduit à une impasse ^{75/}. L'automatisation flexible ne peut fonctionner que si elle est conduite par des techniciens hautement qualifiés et que si le personnel nécessaire avec les machines requises peuvent apporter un plus à la valeur ajoutée.

^{72/} N. Wiener : The human use of human beings, Cybernetics and society.

^{73/} K.H. Ebel : L'usine automatisée a besoin de la main de l'homme. Revue internationale du travail, 5/1989, Genève.

^{74/} Special Report on training, American Machinist, juin 1989.

^{75/} Cohen, Zysman: "US competitiveness suffers: the emergence of a manufacturing gap, in Transatlantic perspectives, Washington, automne 1988.

CHAPITRE IV : INCIDENCES POUR LES PAYS EN DEVELOPPEMENT

L'évolution de la machine-outil, depuis la machine bruyante conduite par des ouvriers en salopette à l'"automatisation par ilot" conduite par des techniciens et des programmeurs a des incidences sur les pays en développement, qui vont bien plus loin que le problème de l'accès à l'industrie de la machine-outil (et le développement de cette dernière). Cette évolution doit être considérée dans le contexte des modifications affectant les règles globales de la concurrence dans les industries mécaniques et au-delà ^{1/}.

Après une évaluation des incidences de ces tendances sur les producteurs de machines-outils, le présent chapitre s'intéressera aux questions relatives à l'impact subi par les industries mécaniques et aux problèmes de l'automatisation industrielle dans les pays en développement.

1. Impact sur la production de machines-outils

1.1. L'accès à l'industrie de la machine-outil

Dans plusieurs pays, l'accès à l'industrie de la machine-outil n'est pas uniquement déterminée par des facteurs économiques. Pour mesurer le bénéfice net assuré par un tel investissement, il doit être tenu compte des avantages économiques (valeur ajoutée, gains en devises etc.), ainsi que de facteurs externes tels que la possibilité d'adaptation et d'amélioration de la technologie, et la formation de la main-d'oeuvre (encadré 17).

L'une des décisions les plus importantes auxquelles doivent faire face les pays en développement dans le secteur des biens d'équipement est la décision de "fabriquer ou acheter" ^{2/}, compte tenu du choix de la gamme de produits à fabriquer et de l'acquisition de la technologie.

1.1.1. Contraintes techniques

La principale difficulté à laquelle sont confrontés les pays en développement désireux d'accéder à l'industrie de la machine-outil est souvent moins d'ordre technologique que d'ordre économique : l'absence de marché intérieur suffisant et les difficultés qu'il y a à assurer la compétitivité des exportations rendent souvent leur production commercialement non viable.

^{1/} Par exemple l'incidence de l'automatisation flexible dans l'industrie du vêtement.

^{2/} M. Fransman: Machinery and Economic Development, Mac Millan, 1986.

Encadré 17 : Mesure de l'efficacité économique de l'industrie de la machine-outil au Pakistan

Une évaluation du rôle économique de l'industrie de la machine-outil a été effectuée au Pakistan. Cette industrie est constituée de 188 unités comptant jusqu'à 20 salariés, de 10 unités moyennes (21 à 100 salariés) et de grandes unités comptant plus de 100 salariés; le total des ventes était en 1987 de 3 millions de dollars.

L'étude a permis de déterminer les avantages obtenus sur le plan de l'emploi, de l'économie de devises et de la valeur ajoutée et de mesurer les coûts en ressources intérieures de plusieurs produits:

L'emploi. L'effectif directement employé dans les unités de production de machines-outils se chiffrait à 2 261; toutefois, un grand nombre d'opérations sont sous-traitées : la plus importante est la fonderie, qui a créé 445 postes supplémentaires, d'autres opérations (rabotage et taillage de pignons) ayant créé 91 emplois.

Economies en devises. On a estimé le coût des machines pakistanaises à un tiers à un cinquième de celles importées de pays industrialisés. La production locale, soit 77 000 machines-outils sur 20 ans, a assuré à l'économie nationale un gain substantiel estimé à 165 millions de dollars EU.

La valeur ajoutée en pourcentage des ventes locales a été tout à fait substantielle : 36% dans le cas des petites entreprises, 41% dans celui des entreprises moyennes et 51% dans celui des grandes entreprises.

Le coût en ressources intérieures. Afin de déterminer l'efficacité économique de l'industrie, le coût en ressources intérieures - qui constitue la mesure des coûts locaux encourus par unité de devises étrangères économisées ou gagnées - a été calculé. Pour des produits tels que les tours classiques (0,83), les machines de fraisage (0,72), les perceuses (0,75), ce coût mesuré compte tenu des taux de change en vigueur a été inférieur à l'unité : cette analyse suggère que l'industrie est hautement concurrentielle.

Ghulam Kibria: A study of the machine-tool industry potential of indigenous capability in the engineering industry of Pakistan. National Development Finance Corporation Report no 21, mars 1988.

La complexité technologique de la machine-outil peut être mesurée par la méthode ATC, mise au point par l'ONUUDI. Cette méthode ne vise pas le produit lui-même, mais les exigences technologiques de sa production ^{3/}. Le classement est obtenu en identifiant et en évaluant toutes les technologies incluses dans la chaîne des processus de fabrication qui aboutissent à un produit fini.

L'indice global de complexité technologique prend en considération 103 sous-technologies ou facteurs de production. L'indice va de 16 pour un poêle primitif à 434 pour un réacteur nucléaire et à 563 pour un avion biréacteur. Selon l'étude, qui concerne plus de 1 100 biens d'équipement, les machines-outils ne figurent pas parmi les biens d'équipement les plus complexes à produire.

- Le tour parallèle de précision obtient le meilleur classement pour les machines-outils; cependant il se classe dans le même groupe de complexité (indices allant de 100 à 129,9) que les motocycles, les récepteurs de télévision et les réveils.
- La plupart des machines-outils figurent, parmi les 213 groupes de produits, dans celui dont l'indice est compris entre 40 et 69,9. Cette liste comprend les récepteurs radio, les téléphones et les bicyclettes. Par ordre de complexité descendante, on trouve parmi les machines-outils les perforatrices au rocher, les presses mécaniques, les scies circulaires, les perceuses pneumatiques, les cintruses de tubes et tuyaux, les marteaux pneumatiques, les agrafeuses, les affûteuses et les tours parallèles du type commun.

Tandis que la complexité technologique du produit ne semble pas constituer un obstacle sérieux, les principales contraintes techniques en ce qui concerne l'accès à cette industrie sont :

- La disponibilité de personnel qualifié. L'industrie de la machine-outil exige des techniciens et ouvriers spécialisés ayant acquis une certaine expérience dans la métallurgie. Ces travailleurs hautement qualifiés, difficiles à trouver, sont rarement attirés par une industrie à activité cyclique où des risques de licenciements sont à prévoir en cas de mévente. L'avènement des machines-outils à CNC et de la CAO contribue à atténuer cette contrainte. Cependant, une connaissance solide des techniques d'enlèvement de métal est essentielle lorsque l'on veut tirer le maximum de productivité de la technologie de la CNC.
- L'existence d'industries auxiliaires : fonderies, taillage de pignons, traitement thermique des matières premières et des composants et services techniques. La création d'une unité intégrée constitue un moyen coûteux de pallier à cette contrainte.

^{3/} Voir ONUUDI : Industrie et développement dans le monde, rapport 1989/90, Vienne, pp. 122-131.

1.1.2. Contraintes économiques

La médiocrité et l'étroitesse des marchés domestiques limitent l'industrialisation sous tous ses aspects, mais le producteur potentiel de biens d'équipement est encore plus sérieusement handicapé par le fait qu'il est deux fois plus éloigné du consommateur final : "Il est toujours plus facile de trouver cent consommateurs désireux d'acheter des bicyclettes que de trouver dix constructeurs de bicyclettes désireux de trouver un producteur de machines-outils" 4/.

La dimension du marché de la machine-outil est directement fonction de l'état de développement des industries mécaniques (voir figure 17, chapitre 2). Dans la plupart des pays en développement à revenu moyen, les ventes de machines-outils sont inférieures à 100 millions de dollars par an, et dans les pays les moins développés, elles sont souvent inférieures à un million de dollars. Ce marché est d'autre part fortement segmenté :

- parmi les industries utilisatrices : dans les pays en développement où il existe une industrie des véhicules à moteur, cette industrie est habituellement la plus grande utilisatrice potentielle; cependant, ses besoins concernent principalement les machines-outils spécialisées telles que des chaînes de transfert. Ailleurs, les principaux utilisateurs sont les constructeurs de bicyclettes et d'équipements de transport rural, ainsi que les ateliers d'entretien.
- exigences de précision : les utilisateurs n'exigent pas de leurs équipements le même degré de précision. Dans le cas du Pakistan 5/ on a estimé que 43% du marché concernent des machines ayant des limites de tolérance allant jusqu'à 0,015 inch (0,375 mm), 30% concernent des

machines ayant des tolérances comprises entre 0,005 inch (0,125 mm) et 0,015 inch, 23% des machines ayant des tolérances comprises entre 0,001 inch (0,025 mm) et 0,005 inch, et seulement 9% des machines plus précises.

La nature cyclique du marché est une autre caractéristique qui explique l'hésitation des entrepreneurs à entrer dans cette industrie.

La contrainte concernant la dimension du marché limite les possibilités d'entrée aux pays caractérisés par une valeur ajoutée minimale dans les industries mécaniques pouvant être estimée 6/ à quelque 100 millions de dollars (1986). Cependant, en mettant par trop l'accent sur les contraintes du marché intérieur, on risque de perdre de vue les possibilités ouvertes par les marchés régionaux et internationaux.

4/ ONUDI, Industrie et développement dans le monde, Rapport 1988/89.

5/ Voir G. Kibria, encadré 17.

6/ Cette limite doit être comprise comme une approximation très grossière fondée uniquement sur des données statistiques.

- Le marché régional : la coopération régionale est un moyen de remédier à l'exiguïté du marché : le marché des pays arabes est estimé à 150 millions de dollars et celui des pays de l'ANASE à 350 millions de dollars (encadré 18). L'accord entre l'Argentine et le Brésil concernant le secteur des biens d'équipement a déjà permis de créer un environnement favorable pour la coopération Sud-Sud dans l'industrie de la machine-outil, et peut conduire à des projets communs de coentreprises 7/ analogues à l'accord entre le Maroc et la Tunisie 8/.
- La tendance en faveur des machines-outils à CN dans les pays industrialisés offre des possibilités additionnelles d'exportation aux pays en développement dans certaines niches du marché concernant des machines-outils classiques, ce qui crée de nouvelles possibilités d'échanges Sud-Sud et Sud-Nord.

Même lorsque les contraintes relatives à la dimension du marché peuvent être surmontées, il ne faut pas oublier que l'accession à cette industrie n'est possible que pour les pays possédant des industries mécaniques suffisamment développées capables de fournir des matières premières (par exemple des pièces de fonderie) et d'offrir des possibilités de sous-traitance.

Toutefois, comme on l'a noté plus haut 9/, l'existence d'un marché intérieur important n'offre qu'une efficacité statique. Dans certains pays, elle peut même constituer un inconvénient car elle risque de miner le dynamisme de l'industrie. La qualité de la demande nationale de machines-outils paraît également importante. Elle contribue à créer une efficacité dynamique lorsque les utilisateurs intérieurs sophistiqués font pression sur les producteurs pour qu'ils perfectionnent leurs gammes de produits.

1.1.3. La gamme de produits et l'intégration

Les nouveaux venus dans l'industrie tendent à produire des machines-outils universelles. Parmi les machines les plus fréquemment produites figurent les perceuses et les machines à tourner. Seul un très petit nombre de pays en développement produisent des machines-outils spécialisées et les machines-outils à commande numérique.

En général 10/, la gamme de production tend à être moins spécialisée, ce qui complique la gestion de la production. En outre, dans bien des cas, l'absence initiale d'industries auxiliaires (fonderie et forge) a justifié la création d'industries intégrées des machines-outils, et dans nombre de pays

7/ R. Tauile, J. Erber: Machine tools in Latin America, ONUDI septembre 1990.

8/ A. Chelbi et A. Belhadj: L'industrie de la Machine-outil en Algérie et en TUNISIE, ONUDI 1991. Il existe un arrangement tripartite entre les deux pays et C-3M (France) concernant la production conjointe de machines-outils à bois et à métaux.

9/ Voir chapitre 1, paragraphe 3.5.

10/ Voir M.M. Huq et C.C. Prendergast Machine tool production in developing countries, Edinburgh Scottish Academic Press, 1983.

Encadré 18 : De la demande Sud-Sud à la demande mondiale

Dans les années 60, Taiwan a commencé à tirer parti des exportations pour compenser l'exigüité de son marché intérieur. La plupart des exportations allaient vers l'Asie du Sud-Est. A mesure que ce marché se développait, les possibilités de mobilisation de capitaux pour assurer la normalisation et parvenir à une production de qualité supérieure augmentaient. La transition entre l'approvisionnement d'un marché à faible revenu à celui d'un marché à revenu élevé a été moins difficile que prévu et le dynamisme du commerce Sud-Sud a fourni aux producteurs de machines-outils de Taiwan une expérience technique et des capitaux suffisants pour faire face à la demande mondiale: les exportations vers les Etats-Unis d'Amérique, qui ont débuté en 1974, représentaient en 1986 54% du total des exportations de machines-outils. Après l'accord de réduction volontaire des exportations imposé en 1987, la part des exportations vers les Etats-Unis a été réduite (26%) tandis que de nouveaux débouchés étaient découverts en Europe (24%); les exportations vers les pays en développement représentaient 28% en 1988.

Tiré de l'étude de A. Amsden: "The division of labour is limited by the rate of growth of the market: the Taiwan machine tool industry", Cambridge Journal of Economics, 1985, pp. 271-286.

en développement le niveau d'intégration est beaucoup plus élevé que dans des pays industrialisés. Ce choix, qui était justifié lors du lancement de l'industrie, a alourdi les coûts de certains des facteurs de production en raison du niveau d'utilisation médiocre des unités auxiliaires dans le cadre de l'entreprise.

Dans la plupart des pays en développement, les machines-outils classiques demeureront les plus demandées dans un avenir prévisible. Dans les cas des pays arabes, on a estimé que la demande de machines-outils à CN progressera à un taux moyen de 10% par an entre 1990 et 2000, soit plus du double du taux prévu (4%) pour les machines-outils classiques; toutefois, on estime que d'ici l'an 2000 les machines-outils à CN ne représenteront que 7% du total de la capacité installée ^{11/}. Dans les pays industrialisés (où 9 machines sur 10 sont encore classiques), les fabricants s'orientent vers la production de machines-outils à CN. Ainsi, l'entrée dans la production de machines-outils classiques est économiquement justifiée, et constitue d'autre part la seule voie technologique vers la production d'équipements plus avancés.

^{11/} Tiré de l'étude de l'Organisation arabe de développement industriel : The development of machine-tool industry in Arab countries 1987 dans: Le secteur de la machine-outil en Algérie et Tunisie par Chelbi, ONUDI 1991.

Les décisions concernant la gamme de production et le degré d'intégration doivent prendre en considération les faits suivants :

- L'autosuffisance n'est ni souhaitable ni possible. Les pays doivent concentrer leur attention sur une certaine classe ou un certain type de machines qui offrent de plus grandes possibilités d'utilisation dans les usines compte tenu de la dimension de leur marché et de leurs possibilités d'exportation. Habituellement, les pays en développement ont commencé par des machines simples telles que les tours universels, les petites perceuses et machines à rectifier - utilisées dans les petites usines et les petits ateliers de réparation locaux, et dont la production est relativement facile. Une étude de l'ONUDI réalisée en 1974 a classé les capacités des fabricants en quatre niveaux de développement industriel : limité, modéré, substantiel et élevé. Pour chacun de ces niveaux, les différents types de machines que les pays en développement qui s'engageaient dans l'industrie devaient produire étaient identifiés (tableau 44).
- Afin de remédier à la fiabilité toute relative des services de sous-traitance, les pays en développement ont souvent opté pour un niveau élevé d'intégration, qui s'est souvent soldé par des niveaux très modestes d'utilisation des équipements. La difficulté de réaliser un équilibre approprié entre l'intégration et la sous-traitance résulte du fait que la demande de l'industrie de la machine-outil sur le plan de la fonderie, de la forge, du taillage de pignons etc. est très faible en comparaison de la demande similaire des autres activités de construction mécanique telles que l'industrie des véhicules à moteur; ainsi, il n'est pas possible de promouvoir une industrie de sous-traitance axée uniquement sur les besoins du secteur de la machine-outil.

Le niveau d'intégration est l'un des facteurs qui expliquent les importantes différences d'intensité de capital entre les pays dans cette industrie, qui ne peut pas être considérée comme à forte participation de capital. Au Pakistan, sur la base des données de 188 unités, on a estimé l'investissement par travailleur à 1 500 dollars, contre 13 000 dans les deux entreprises d'Etat intégrées 12/. En République de Corée, où l'industrie est plus sophistiquée et plus concentrée, le capital immobilisé par travailleur se chiffrait à 47 000 dollars en 1986 contre une moyenne de 38 000 (1986) pour l'industrie manufacturière 13/. En Inde, le capital investi dans la Hindustan Machine Tool Plant (27 000 salariés) 14/ a été estimé à 350 millions de dollars et en Algérie, les investissements au sein de la PMO, unité hautement intégrée qui emploie 500 salariés, se chiffraient à 600 millions de dollars (1976) 15/.

12/ A Study of the machine-tool industry, 1988.

13/ ONUDI: Industrie et développement dans le monde, rapport 1989/90, Vienne, p. 104 du texte anglais.

14/ Hyung Sup Choi: Hybrid of man and technology, Asian Productivity Organization, Tokyo 1989, p. 147.

15/ A. Chelbi et A. Belhadj: L'industrie de la machine-outil en Algérie et en Tunisie, ONUDI 1991.

Tableau 44 : Capacités des fabricants de machines-outils et ampleur de la production

Limitée	Modérée	Substantielle	Elevée
Perceuses d'établi	Tours à moteur	Tours-revolver	Rectifieuses à engrenages
Meules d'établi	Fraiseuses simples	Tours automatiques, à barre et à mandrin	Machines spécialisées
Machines d'emboutissage	Perceuses d'établi et à colonne	Tours traçoirs	Machines-transfert
	Rectifieuses de surface	Meules de précision	Perceuses à CN
	Machines à percer les outils et organes de coupe	Aléseuses de calibres	Aléseuses à CN
	Etaux-limeurs	Taillage de pignons	Fraisage électrochimique
	Petites presses mécaniques et freins	Machines à brocher	
		Perceuses radiales	
		Machines à visser	
		Presses hydrauliques et mécaniques	

Source : Nations Unies, The Machine-Tool Industry, 1974, p. 21.

L'intégration à l'intérieur de l'entreprise peut se révéler comme constituant une alternative à l'intégration de l'usine. Le marché des machines-outils est considéré comme une activité qui n'assure pas chaque année des profits aux entrepreneurs, et pour surmonter cette difficulté, la production de machines-outils doit souvent être organisée comme une activité de diversification d'une autre activité métallurgique comme la construction de machines agricoles.

1.1.4. Acquisition de la technologie

Si l'on considère l'histoire de l'industrie de la machine-outil, la principale voie de transfert de technologie a été le "transfert inverse de technologie", qui est l'équivalent en langage poli du "copiage", le transfert de technologie au moyen de licences n'ayant joué qu'un rôle beaucoup plus modeste.

Le transfert inverse de technologie présente les avantages suivants: faible coût, développement de nouveaux produits sans dépendance technologique, capacité locale accumulée et possibilité de mise au point de technologies appropriées. L'industrie américaine de la machine-outil a acquis sa technologie par le biais du copiage au XIXe siècle; au Japon, après la révolution Meiji, les trois sources de production étaient l'arsenal, les ateliers de réparation et les entreprises artisanales qui passaient des mois à faire des répliques des machines importées ^{16/}. Cette voie non officielle a été largement utilisée par d'autres pays d'Asie orientale (encadré 19).

^{16/} Toshiaki Chokki: A History of the Machine-tool industry in Japan dans Fransman.

Encadré 19 : Exemple de transfert inverse de technologie

L'entreprise A commença à construire un tour à courroie après avoir recruté un technicien expérimenté pour imiter un tour de fabrication japonaise localement disponible. Cette entreprise réalisa une copie satisfaisante du tour, par transfert inverse de technologie, sans avoir pu disposer de plans. Le technicien joua un rôle-clé dans la duplication du tour à courroie. L'échange de personnel technique entraîna un transfert de technologie humaine. Bien que la précision du tour fût médiocre, les machines fabriquées par l'entreprise A conservèrent une position dominante jusqu'au milieu des années 70.

L'entreprise A commença à utiliser des plans en 1964 dans le cadre de son processus de développement de production lorsque le tour à engrenage fut mis au point sur la base de plans acquis de source non officielle ainsi que d'un modèle japonais. Plus tard, l'entreprise A utilisa des plans pour mettre au point son tour à CN. Ce résultat fut obtenu en un an à la suite de recherches confiées à un institut technologique local.

Structure de progression technologique de l'entreprise A

	Produit	Année de développement (année)	Période de développement (mois)	Méthode de développement
Copie sans plan	tour à courroie	1960	3	Recherche d'un mécanicien local et duplication d'un tour bien connu
Imitation avec plan	tour du type à engrenages	1964	12	Obtention de plans et imitation
	tour à moteur	1967	6	Achat d'un tour et imitation
	tour à grande vitesse	1976	6	Duplication
	fraiseuse du type à engrenages	1976	6	Imitation d'une machine japonaise
Développement d'un nouveau produit	Tour à CN*	1977	20	Développement en liaison avec un institut national
	machine à rectifier	1980	6	Contrat en vue de l'introduction de plans
	fraiseuse à CN	1983	12	Développement par des moyens nationaux
	fraiseuse à copier	1983	12	Développement par des moyens nationaux
	usinage	1983	12	Développement à partir du modèle de base

* Parties électroniques importées du Japon.

Source : Zong-Tae Bae et Jinjo-Lee: Technology development pattern of small and medium sized companies in the Korean Machinery industry, dans Technovation 4 (1986) 279-296.

Une enquête 17/ sur neuf constructeurs de machines-outils de Taiwan, Province de Chine, a montré que presque toutes les entreprises constructrices de machines-outils, grandes ou petites, avaient acquis leur savoir-faire initial par copiage ou transfert inverse de technologie. Les produits des entreprises concurrentes (nationales ou étrangères), qui constituaient un important apport de modèles, semblaient être les sources les plus importantes d'amélioration. Les entreprises locales appliquaient le principe de "l'instruction par l'usage", qui constitue en quelque sorte une interaction entre le producteur et l'utilisateur. Le copiage a ses limitations. Faute d'avoir accès aux plans, il est plus difficile d'apporter des modifications structurelles soit à la machine-outil (en réduisant le nombre d'engrenages dans un modèle donné) soit à son utilisation (en simplifiant la configuration). Néanmoins, certaines indications en provenance de Taiwan, Province de Chine, montrent que les meilleures entreprises ont non seulement copié des modèles étrangers, mais les ont modifiés et améliorés au cours des ans. Ces améliorations concernent notamment la commande, les relais magnétiques, le système de refroidissement à l'air et la productivité dans l'atelier.

Le mode habituel d'accession à l'industrie de la machine-outil est la remontée de la vente au service puis à la prise de licence de montage de machines livrées en pièces détachées, et enfin à la construction complète de la machine 18/.

Il existe plusieurs formes d'arrangements de licence :

- licence de montage de modèles existants, fréquemment périmés, livrés en pièces détachées. Cette procédure ne comporte qu'un transfert de technologie très limité;
- licences de fabrication et de montage de modèles de machines-outils existant dans les pays du licencié ou de ventes sur les marchés d'exportation.
- accord de coentreprise avec transfert de technologie complet et développement des études de conception.

Il existe une large gamme de fournisseurs possibles de technologie, et pour la mise en oeuvre de machines-outils conventionnelles et plusieurs pays en développement ont conclu des accords de concessions réciproques de licences. Il existe aussi des possibilités de coopération Sud-Sud 19/, et la tendance à l'internationalisation des entreprises productrices de machines-outils offre des possibilités additionnelles.

17/ Voir A.H. Amsden, 1985.

18/ ONUDI: technological requirements for the machine-tool industry in developing countries, ONUDI, IS.462, juin 1986.

19/ Ces possibilités ont été portées à l'attention du Groupe de travail sur la coopération en matière de production et d'application des machines-outils entre certains pays en développement, Shanghai, mai 1989.

1.1.5. Politique industrielle

Comme on l'a vu au chapitre premier, la politique gouvernementale assume une grande importance dans la délimitation des quatre déterminants d'une industrie nationale compétitive. La politique industrielle a joué un rôle significatif dans le développement de l'industrie de la machine-outil dans plusieurs pays industrialisés : les incitations fiscales, la protection de l'industrie locale contre les importations et la politique d'achat figurent parmi les principaux moyens utilisés.

Dans toutes les industries naissantes, la jeune industrie de la machine-outil demeure vulnérable et exige une certaine protection durant sa période d'apprentissage. Un contre-exemple est celui du Mexique où la protection insuffisante accordée à l'industrie des biens de production a inhibé la production locale de machines-outils. Il importe que l'industrie devienne dès que possible économiquement viable car la protection, si elle se prolonge, risque de la rendre inefficace et ainsi de compromettre le développement de l'ensemble des industries mécaniques du pays. Comme on l'a vu dans le cas de la République de Corée (encadré 20), l'industrie de la machine-outil peut être à la fois protégée contre la concurrence étrangère et concurrentielle sur les marchés internationaux.

Les besoins d'achat de l'Etat concernent en premier lieu l'équipement des entreprises d'Etat et celui des établissements d'enseignement.

Le gouvernement peut aussi jouer un rôle de médiateur entre les intérêts souvent contradictoires des utilisateurs, qui recherchent le meilleur équipement disponible, et des producteurs, qui s'efforcent d'améliorer leur production. Ce faisant, le gouvernement doit assurer une collaboration technologique étroite entre les utilisateurs et les producteurs en vue du développement de la production de telle sorte que les constructeurs satisfassent aux besoins technologiques des utilisateurs. La création d'instituts de recherche et de développement bénéficiant de fonds gouvernementaux et visant à aider les producteurs et les utilisateurs a constitué une importante incitation au développement de l'industrie de la machine-outil dans plusieurs pays.

1.2. Accession à la production de machines-outils à commande numérique

Quelques pays en développement se sont engagés dans la production de machines-outils à CN (MOCN). Leur expérience montre que la technologie électronique n'est pas en soi la principale contrainte.

1.2.1. Evolution dans les pays nouvellement industrialisés

Le tableau 45 fournit les statistiques disponibles de la production de MOCN dans certains pays nouvellement industrialisés. La part des MOCN dans la valeur totale de la production de machines-outils dans ces pays est inférieure à celle de la plupart des pays industrialisés (de l'ordre de 60 à 70%). Toutefois, la transition vers la fabrication de machines-outils à CN s'effectue rapidement dans ces pays, où les MOCN comptent en moyenne pour 25% de la production en valeur (30% pour les machines-outils à enlèvement de

Encadré 20 : Protection et compétitivité

En République de Corée, le gouvernement a introduit plusieurs plans visant spécifiquement les machines-outils. Deux principaux instruments ont été utilisés :

- l'interdiction totale des importations lorsque des machines-outils localement produites étaient disponibles. La Korean Machine Tool Manufacturer's Association a été habilitée à déterminer s'il existait des produits nationaux analogues et si les importations devaient être limitées. Cette disposition qui a suscité des critiques à l'intérieur du pays.
- l'octroi de crédits subventionnés aux entreprises productrices de machines-outils.

Un aspect important de ces instruments était que les avantages ainsi assurés étaient conditionnés par le rendement des exportations. Cette disposition obligeait les entreprises à confronter le problème de la compétitivité internationale, même lorsqu'elles jouissaient de crédits subventionnés et de conditions de protection sur le marché domestique.

Fransmann: Machinery and economic development et P. Judet: L'industrie de la machine-outil en Corée, ONUDI 1990.

Tableau 45 : La production de machines-outils à commande numérique dans les pays nouvellement industrialisés

	1985		1987		1988		1989		Part de la production de MOCN, en valeur
	millions de \$	unités							
Argentine	1,20	16	10	100	12	96			20%
Brésil		413	223	1018	226	742	1052		43%
Inde		93		330	71	312			26%
RP de Chine						1000*			
République de Corée	38		134	2039	155	2119	250		27%
Taiwan, Prov. Chine	42	1118	114		166	3600	4900		24%

Sources : CECIMO.
Brazil Bolletim Sobracon 1989.
Electronics Korea février 1990.

* Production de la partie mécanique des machines-outils à CNC.

métal). La production de MOCN (en unités) est comparable à celle d'unités de certains pays européens 20/, mais bien inférieure à celle du Japon, qui a construit 48 000 MOCN en 1988. Cependant, la part des MOCN dans la production est parfois influencée fortement par le prix élevé de ces machines: tel est particulièrement le cas au Brésil, où les MOCN comptaient pour 3% de la production en volume (contre 30% dans les pays industrialisés).

La production de MOCN s'est concentrée sur les tours et les centres d'usinage, qui comptent pour 74 et 78% respectivement du nombre total de machines-outils à CN produites au Brésil et en Argentine. A Taiwan, Province de Chine, on note une tendance à la diversification des machines de perçage et d'alésage à CN, des machines à électro-érosion et des cellules flexibles de fabrication 21/.

1.2.2. Maîtrise de la technologie

L'expérience des pays nouvellement industrialisés donne à penser que les constructeurs de machines compétents n'ont pas rencontré eu beaucoup de difficultés à assimiler la nouvelle technologie de production.

Une étude de plusieurs constructeurs de machines-outils de Taiwan, Province de Chine, indique en conclusion 22/ que "aucune des entreprises de l'échantillon n'a signalé de difficulté sérieuse dans l'introduction de machines à CNC... et aucun n'entrevoit de difficultés majeures à améliorer la qualité de ces machines dans le temps afin de conserver leur position par rapport au Japon". Seules les entreprises les plus puissantes ont pu se convertir à la CNC par leurs seuls propres moyens, tandis que la plupart des autres recevaient une assistance technique du fournisseur de dispositifs de commande à CNC. Une enquête faite en République de Corée (encadré 21) fait apparaître que les principales difficultés dans ce pays concernent davantage les parties mécaniques (servo-moteurs, dispositifs de mesure, outils de coupe, axes et composants hydrauliques) que les organes électroniques ou les logiciels.

Ces exemples font ressortir un facteur évident, mais souvent négligé, à savoir que : "les aspirations des pays à l'exportation dans les secteurs de l'industrie des machines sont limitées du point de vue technique non par l'absence de spécialistes des technologies de l'information, mais par la médiocrité générale de leur production mécanique de base et de leurs capacités de conception et de construction de machines" 23/. Si ces pays peuvent surmonter ces obstacles à un point tel que l'exportation de machines

20/ Production de CN en France : 2 900 unités en 1987, au Royaume-Uni, 2 700.

21/ En 1984 une compagnie taiwanaise a exporté son premier système flexible de fabrication. American Machinist, février 1984.

22/ M. Fransman: "International competitiveness, technical change and the State: the machine-tool industry in Taiwan and Japan". World Development vol. 14 No 12 pp. 1375-1396, 1986.

23/ K. Hoffman: "Technological advance and organizational innovation in the engineering industry", Industry and Energy Department working paper, Industry series paper No. 4, Banque mondiale, mars 1989.

Encadré 21 : Identification des principales contraintes techniques rencontrées par les constructeurs de machines-outils à commande numérique

	Décalage par rapport aux pays industrialisés (années)	Acquisition de la technologie
Matériel		
<u>équipement électronique</u>		
unité centrale de traitement	3 à 5	réalisation locale
moniteur et clavier	3 à 5	importation
contrôleur programmable	1 à 3	locale
<u>matériel électrique et mécanique</u>		
transformateur	5 à 10	réalisation locale
servo-moteur	plus de 10	importation
dispositif de mesure	plus de 10	importation
Logiciel		
<u>pour les outils</u>		
moteur	1 à 3	production locale
contrôleur multi-axial	1 à 3	production locale
<u>pour les périphériques</u>		
contrôle des séquences	1 à 3	production locale
interface	3 à 5	production locale
logiciel spécifique		
graphismes	1 à 3	production locale
contrôle numérique	3 à 5	production locale
Conception technique		
<u>principaux types de machines</u>		
centres d'usinage	1 à 3	production locale
tour	1 à 3	production locale
fraiseuse	3 à 5	production locale
électro-érosion	5 à 10	importation
<u>composants mécaniques</u>		
outils de coupe	plus de 10	production locale
axe	plus de 10	importation
système de transfert	3 à 5	production locale
composants hydrauliques	plus de 10	importation
Fabrication et technologie de montage		
<u>principales opérations</u>		
matrices (en fonderie)	5 à 10	importation
traitement thermique	5 à 10	importation
finition	1 à 3	réalisation locale
contrôle de qualité	1 à 3	réalisation locale
<u>automatisation</u>		
conception et plan	5 à 10	importation
production	1 à 3	réalisation locale

Source : Korea Institute for Economics and Technology 1988, dans Judet P.: L'industrie de la machine-outil en Corée, ONUDI, 1990.

classiques devienne une proposition viable. L'expérience suggère que l'accession à la micro-électronique ne posera pas de gros problèmes à nombre de pays en développement désireux d'investir dans l'intégration de systèmes et le développement des capacités de programmation.

1.2.3. Intégration locale

La construction de machines-outils à CN nécessite des achats de matériels bien supérieurs à ceux indispensables dans la construction de machines-outils classiques (tableau 46). La part des éléments achetés, qui se chiffre à 40% dans le cas d'un tour à moteur, s'élève à 75% du coût de production dans le cas d'un tour à CNC. Il existe aussi une différence en ce qui concerne le type d'éléments de matériel achetés : les matières premières (pièces de fonderie) comptent pour 25% du total dans la production de machines classiques, contre 12% seulement dans celle de machines à CNC. La part du système de commande peut atteindre de 25 à 40% du total des coûts d'une machine à CNC.

L'intégration locale des parties essentielles des machines à CN est une tâche difficile. La stagnation du taux de localisation pour les machines-outils à CN en République de Corée depuis 1985 illustre les difficultés rencontrées (tableau 47).

La production locale d'unités à commande numérique a débuté au Brésil et en République de Corée, où les marchés intérieurs se chiffrent respectivement à 20 et 55 millions de dollars ^{24/}. Au Brésil, la production est segmentée entre trois fournisseurs captifs (producteurs de machines-outils) et quatre "négociants-fournisseurs" qui approvisionnent différents marchés (80% du marché). La concurrence est minime, bien que ce monopole soit remis en cause par une entreprise d'électronique qui a mis au point un modèle simple de CN. L'encadré 22 examine les possibilités technologiques de progression, depuis la fabrication de machines-outils classiques jusqu'à la mise en production de machines-outils à commande numérique, progression dans laquelle le logiciel joue un rôle prépondérant.

1.2.4. Compétitivité au niveau des prix

Le succès des exportations de machines-outils à CN utilisables isolément et de centres d'usinage à CN à bon marché par des producteurs d'Asie orientale ^{25/} fournit un premier indice de la compétitivité des industries de la machine-outil de ces pays. La comparaison entre les prix des machines-outils d'Asie orientale et d'Amérique latine révèle de grandes différences au niveau des prix. Alors que la comparaison des prix unitaires de machines similaires (et de prix moyens) entre le Japon, la Corée et Taiwan, Province de Chine, ne révèle que de faibles différences, le tableau 48 indique de grandes différences de prix entre l'Asie orientale, l'Inde et le Brésil, où

^{24/} Electronics Korea, septembre 1989.

^{25/} Par exemple: l'Accord de limitation volontaire des exportations imposé à Taiwan, République de Chine.

Tableau 46 : Principales caractéristiques de fabrication des machines-outils classiques et à CNC

	Machine-outil classique	Machine-outil à CNC
Matériaux et main-d'oeuvre	Surtout intensive - structures en fonte - importance du rôle des transmissions à engrenages - entraînement par moteur à vitesse constante	Le contenu spécialisé représente 50% du coût du travail et comprend les dispositifs électriques, les systèmes d'entraînement et les ordinateurs qui sont souvent achetés auprès de plusieurs fournisseurs.
Structure	Comprend 80% du coût du travail.	Moteur à courant continu ou alternatif. Pas ou peu d'engrenages. La structure compte pour 50% du coût du travail.
Part des éléments manufacturés	Grande. Toutes les pièces sont faites dans l'usine, y compris les pièces de fonderie et tout l'usinage, notamment celui de nombreux engrenages	Faible. Tous les éléments peuvent être sous-traités, à l'exception de l'usinage final.
Structure de gestion	Classique. A intensité de personnel. Le directeur de l'usine est totalement responsable de la production.	Structure de gestion de projet axée sur l'équipement : l'acheteur d'éléments électriques porte une responsabilité analogue à celle du directeur de l'usine à l'égard de la production.

Source UNIDO Technological requirements for the machine-tool industry in developing countries, IS/642, 1986.

Tableau 47 : Taux de localisation en République de Corée
(%)

	1980	1985	1989
tour classique	85	95	95
fraisage	80	88	
rectification	70	90	
machines-outils à CN			
tours à CN	20	44	47
centre d'usinage		52	52,50
électro-érosion			10,80

Source : Korean Institute of Economics and Technology.

Tableau 48 : Comparaisons des prix des machines-outils

	Japon (1)	République de Corée (1)	Taiwan (Chine) (1)	Inde	Brésil (3)	Mexique (4)
tour classique	7,50	5,80	5,10			
tour à CN	69	53	46			10 à 30
centre d'usinage (1250 x 400 mm)	74	59	52			12 à 50
machine-outil à CN moyenne						
prix local (2)	102	79	47	164	300	

Sources : (1) Korea Machine tool Manufacturer Association, mai 1989
(2) CECIMO
(3) Boletim Sobracon 1989
(4) Gamme des prix à l'importation en 1990.

Tableau 49 : Facteurs de production du secteur de la machine-outil
au Brésil
(rapport entre les prix intérieurs et internationaux)

Acier et tôles	0,94
Pièces de fonderie (Fe)	1,32
Matériaux non ferreux	0,30
Moteurs électriques	0,52
Composants électriques	1,71
Composants électroniques	2,77
Composants hydrauliques	1,81
Roulements à bille	2,95
Pièces forgées	1,22

le prix moyen national d'une machine-outil à CN est cinq fois plus élevé que le prix moyen pratiqué en Corée. Par ailleurs, les prix des centres d'usinage sud-coréens représentent entre la moitié et le tiers de ceux pratiqués en Argentine 26/.

La cherté de ces machines rend plus ardue la modernisation de l'industrie en Amérique latine. En période économique instable, les décideurs ne sont pas enclins à prendre des risques, notamment sur le plan de la modernisation. La plupart des entreprises de l'industrie automobile brésilienne tablent sur une durée de deux ans pour l'amortissement de leurs achats de nouveaux équipements 27/ ce qui rend irréalisable l'acquisition de machines à CN.

Une portion substantielle du coût élevé des MOCN au Brésil peut être attribuée au coût local des facteurs de production d'origine interne en comparaison des prix pratiqués à l'importation (tableau 49); en effet, la politique brésilienne de réservation du marché 28/ a contribué à gonfler les prix des équipements électroniques. Une autre explication réside dans la médiocrité du volume de production. Alors que la production de tours classiques ne nécessitait que peu d'efforts techniques en matière de conception et n'était guère influencée par les économies d'échelle, il en va tout autrement pour les tours à CNC 29/. La spécialisation est nécessaire non seulement pour maîtriser une technique complexe en évolution rapide, mais également pour glaner les bénéfices d'économies d'échelle dynamiques sous la forme de connaissances acquises et d'économies d'échelle statiques tant dans le domaine de l'acquisition de composants (en raison de la proportion élevée de composants achetés à l'extérieur) que dans celui de la commercialisation. Cette situation a été confirmée par des conversations tenues au Brésil avec des producteurs locaux 30/.

Cela donne à penser que l'accession à la production de machines-outils à CN doit se faire d'une façon très sélective, plutôt dans le sens de la spécialisation que de la diversification. Il s'ensuit que la protection doit aussi être conçue d'une façon très spécifique, et concerner des segments spécifiques de l'industrie, et même des entreprises spécifiques.

26/ Chudnowski et Groisman, 1987.

27/ R.R. Lima: "Implementing the Just-in-Time production system in the Brazilian car component industry", IDS Bulletin 1989 vol 20 No 4 1989 p. 14-18.

28/ Dans le cadre de cette politique, les prix des équipements fabriqués au Brésil sont de trois à cinq fois plus élevés que ceux pratiqués sur le marché international. Après plus de quatre ans de protection du marché cette différence semble croître plutôt que de diminuer.

29/ S. Jacobsson: "Intraindustry specialization and development models for the capital goods sector", Weltwirtschaftliches Archiv Bd CXXIV 1987.

30/ Dans F.S. Erber, ONUDI 1989.

Encadré 22 : Choix d'un mode de transfert de technologie en vue de l'acquisition de techniques de CNC

Trois voies peuvent éventuellement être suivies en vue du transfert et/ou de l'acquisition des technologies de CNC :

- i) l'achat du "bloc technologique" dans le cadre d'un accord clé en main conclu avec un fournisseur propriétaire internationalement reconnu;
- ii) le "déballage" du bloc technologique et la mise au point de tous les éléments à partir de zéro par des moyens locaux;
- iii) l'adoption d'une méthode combinant i) et ii), c'est-à-dire la sous-traitance de certaines parties du bloc technologique à des sociétés étrangères expérimentées dans les domaines considérés et la mise au point du reste de la technologie dans le pays qui recherche le transfert.

Le choix de la voie appropriée est fonction de divers facteurs, notamment : la disponibilité de la technologie, les coûts encourus, le temps nécessaire pour assimiler la technologie, les besoins en main-d'oeuvre, les risques que pose la réalisation des objectifs fixés et la profondeur d'assimilation des technologies.

Les systèmes modernes de CNC à microprocesseur s'acheminent vers la complexité des systèmes à 32 bits, mais on dispose également de systèmes de CNS à 16 bits, que la plupart des sociétés fabriquent et commercialisent toujours. L'achat clés en main est la méthode la plus rapide de transfert de technologie, et l'acquisition de technologie par des moyens locaux, qui exige de grandes capacités, est celle qui demande le plus de temps. Cependant, si l'on compare ces deux voies du point de vue de la profondeur de l'assimilation de technologie, c'est le développement par des moyens locaux qui semble préférable.

Paramètres	<u>Voie de transfert de technologie</u>		
	Clés en main	Indigène	Mixte
Difficulté d'obtenir la technologie	*	****	***
Coûts impliqués	****	*	**
Besoins en main-d'oeuvre	*	****	***
Chances de ne pas parvenir à la réalisation des objectifs fixés	*	***	**
Durée nécessaire pour assimiler la technologie	**	****	***
Risques de non-assimilation de la technologie	****	*	**

**** très élevé(e)

*** élevé(e)

** moyen(ne)

* faible

Adaptation de : CNC system development, Project document DP/CPR/89/017/A/01/37

2. Impact des modifications technologiques sur les industries mécaniques des pays en développement

Nombre d'indices mènent à penser que les règles de la concurrence évoluent rapidement sur le marché mondial des produits manufacturés, et que cette évolution aura un impact important sur les pays en développement. Les caractéristiques des produits et l'innovation dans le domaine de la production sont devenues les principaux déterminants de la compétitivité. Tel est particulièrement le cas dans les industries mécaniques où le raccourcissement des cycles d'utilisation et l'accroissement de la flexibilité en réponse aux besoins de la clientèle jouent un rôle plus important. La fabrication flexible devient le meilleur système de fabrication dans les industries de production de masse comme l'industrie automobile ou dans certaines activités comme la production de machines-outils. Les machines-outils à commande numérique dans les ateliers, les postes de conception assistés par ordinateur dans les bureaux techniques constituent des exemples de technologies d'automatisation individuelle sur la base d'équipements isolés, qui s'intègrent lentement en "îlots d'automatisation" et en systèmes flexibles de fabrication. Il existe une nette tendance à la diversification plus grande des produits et à l'accroissement de la concurrence dans les domaines non seulement de la production proprement dite, mais aussi de la conception, de la distribution et des services.

Quels effets aura cette situation dans les pays en développement ? Un certain nombre d'analystes affirment que les technologies flexibles d'automatisation renforceront l'avantage comparatif des pays industrialisés. Selon eux, l'application de l'ordinateur à la production pourrait avoir pour effet de ramener l'industrie manufacturière dans les pays du Nord. On a ainsi avancé ^{31/} que : *"les industries dans lesquelles les Etats-Unis peuvent conserver un avantage concurrentiel seront celles fondées non pas sur l'importance du volume de production et sur la standardisation, mais sur la production de séries relativement courtes de produits plus spécialisés et à plus grande valeur. Ces produits se retrouveront dans les segments à haute valeur d'industries plus traditionnelles (particulièrement dans les aciéries et les industries chimiques et dans la production de machines-outils commandées par ordinateur et de composants sophistiqués d'automobiles) ainsi que dans de nouvelles industries à haute technologie (semi-conducteurs, fibres optiques, lasers, biotechnologie et robotique)".*

La plupart des observateurs reconnaissent que la stratégie à adopter pour devenir concurrentiel sur le marché international ne peut plus être fondée sur la modicité des salaires et la forte participation de main-d'oeuvre, et les vues quant à l'impact de ces changements divergent. Cette évolution offrira-t-elle de nouvelles possibilités de production aux pays dont les marchés intérieurs sont trop exigus ? Ralentira-t-elle l'internationalisation de la production ?

^{31/} R. Reich: The Next American Frontier, New York Times Books 1983 p. 130

2.1. Evaluation générale

Beaucoup estiment que la révolution technologique actuelle laissera la plupart des pays en développement dans une situation plus critique qu'auparavant, et que l'automatisation flexible permettra aux pays industrialisés d'accroître leur compétitivité dans le domaine de la production.

2.1.1. Menaces

Les pays en développement dans leur ensemble avaient pu continuer à attirer l'investissement international direct durant la période 1975-79, mais depuis le début des années 1980 le flux de ressources privées vers ces pays a diminué rapidement, bien qu'ils aient adopté une attitude plus favorable à l'égard des investissements étrangers. On note une diminution de l'investissement étranger en Amérique latine et même un désinvestissement en Afrique, tandis que l'investissement en Asie du Sud-Est a fortement augmenté depuis 1986.

L'évolution technologique est l'un des nombreux facteurs ^{32/} qui expliquent cette évolution récente. A mesure que déclinera le composant de la fabrication directe dans le total des coûts, les grandes entreprises seront de plus en plus dissuadées de fragmenter leurs opérations, avec tous les inconvénients que cela entraîne en ce qui concerne la complication de la logistique, le contrôle des stocks, etc. Logiquement, la situation semblerait faire entrevoir une tendance future à la réimplantation de la production sur les principaux marchés. L'automatisation flexible semble réduire les avantages de la production à échelle extrêmement grande, ce qui à son tour suggère une production plus dispersée dans de nombreuses petites usines proches des marchés des pays industrialisés ou implantées dans les pays en développement ^{33/}.

D'autre part, l'avantage dont jouissent les pays à bas salaires peut être réduit dans la mesure où ces pays, plus fortement tributaires de la main-d'oeuvre humaine que les pays industrialisés, risquent de s'avérer incapables de produire des marchandises conformes aux normes qualitatives internationales.

^{32/} Dans le cas de l'Amérique latine, le déclin de l'investissement international direct peut être attribué au volume considérable de la dette extérieure, qui a eu des répercussions majeures sur la situation économique générale. Dans le cas de l'Afrique, ce déclin est notamment imputé à la faible dimension des marchés locaux, à la pénurie de personnel qualifié, au manque d'infrastructures, à la stagnation de la demande de produits et à l'alourdissement de la dette. Voir OCDE: Recent trends in international direct investment. Second round table on foreign direct investment, Tokyo 1989.

^{33/} R.U. Ayres: Future Trends in Factory Automation, dans Manufacturing Review vol. 1, numéro 2, janvier 1988.

On a vu au chapitre II que la diffusion des techniques d'automatisation flexible dans les pays industrialisés a d'importantes répercussions sur les sous-secteurs de l'industrie mécanique comme la fabrication des machines-outils (Japon et France), la construction de moteurs et turbines (Japon), la construction de machines industrielles spécialisées (Japon et France), et la fabrication d'instruments et de matériels militaires (Royaume-Uni), produits qui dans les pays en développement 34/ sont généralement fabriqués dans le cadre de plans de substitution des importations, et qui n'ont guère de succès sur les marchés d'exportation en raison de leur complexité technologique 35/. Ces pays risquent ainsi de se heurter à de nouveaux obstacles dans l'avenir.

L'impact est moins significatif dans certaines industries comme celles des outils à main, des éléments de construction en métal et des pièces de véhicules à moteur, groupes de produits qui représentent une grande part de la valeur des productions mécaniques des pays en développement. Ils sont dans l'ensemble technologiquement simples, et certains pays en développement les exportent avec succès. La diffusion inégale des techniques d'automatisation flexible dans ces industries sur le plan mondial ne constitue donc pas une menace considérable.

En évaluant l'impact négatif de l'automatisation flexible sur la compétitivité, il faut souligner que la réduction des coûts se manifesterait surtout dans le domaine de l'usinage, qui dans la plupart des cas compte pour 15% des coûts de construction mécanique. L'adoption des nouveaux systèmes organisationnels par les entreprises de pays industrialisés peut avoir de bien plus grandes répercussions par la réduction des prix de revient qui en résultera.

2.1.2. Occasions offertes 36/

Il apparaît que l'impact des techniques d'automatisation flexible diffère selon la nature de l'alternative à l'automatisation flexible. Si cette alternative est la commande manuelle et l'emploi de machines isolées (par exemple de tours à moteur), l'impact sur les pays en développement apparaît négatif. Cependant, si l'alternative traditionnelle à l'automatisation flexible est l'automatisation fixe sous la forme de chaînes de transfert, le tableau se modifie sensiblement. Normalement, les chaînes de transfert servent à produire de longues séries de produits homogènes, et sont fréquemment utilisées dans l'industrie automobile. Le montant des investissements en capitaux fixes est élevé et une production à grande échelle est nécessaire pour le justifier. Généralement parlant, les investissements de ce type sont moins indiqués dans les pays en développement que dans les pays développés, étant donné la dimension moindre du marché des pays en développement.

34/ Point analysé dans le cas de la République de Corée.

35/ Cependant, comme le mentionnent Edquist et Jacobson, il est possible que les techniques d'automatisation flexible aient déjà eu un impact sur la compétitivité internationale des pays industrialisés aux dépens des pays en développement.

36/ Ce paragraphe est en partie fondé sur l'étude d'Edquist et Jacobsson : Flexible Automation, 1988.

L'évolution en faveur de l'automatisation flexible observée dans les pays développés ouvre des alternatives très intéressantes pour les pays en développement qui ont un marché local plus limité. Ces pays ont maintenant la possibilité de se lancer dans la fabrication de divers produits, par exemple de moteurs diesel, par des techniques d'automatisation flexible, et de concurrencer les produits importés avec des volumes de production beaucoup moins grands que si la technique utilisée était la chaîne de transfert.

2.2. Le cas des composants d'automobiles

L'industrie automobile mondiale entre dans une décennie de concurrence - de rivalité - mondiale intense, et une nouvelle phase de restructuration, centrée principalement sur l'Europe, est en cours. Ce défi mondial conduit à l'apparition d'un groupe exclusif de fournisseurs de composants dits du "premier échelon" qui deviennent un déterminant crucial de l'aptitude des constructeurs à garder leur avance technologique. Le mouvement en faveur de la mondialisation ne signifie pas que les constructeurs se procureront des composants aux quatre coins du monde 37/: la diffusion progressive de la technologie du "juste à temps" suggère que cette évolution est peu probable - mais plutôt que les producteurs multinationaux de composants disposeront de moyens de fabrication dans le monde entier.

L'industrie automobile est traditionnellement considérée comme l'un des secteurs les plus stratégiques et les plus favorisés de l'industrie manufacturière, que de nombreux pays en développement s'efforcent de développer. Certains pays en développement (par exemple l'Indonésie) ont activement développé leur production locale de véhicules à moteur dans le cadre d'une vaste politique industrielle visant à favoriser la croissance de la métallurgie et des industries des machines-outils, politique fondée sur le principe que la production locale de nombreuses pièces et de nombreux composants stimulerait le développement de ces industries. La tendance concernant la production de composants automobiles dans le monde aura d'importantes répercussions sur les pays en développement où les perspectives de production nationale d'automobiles peuvent paraître maigres. Beaucoup de composants sont échangés à l'échelle mondiale, et ce secteur offre des possibilités de complémentarité Sud-Sud 38/.

Afin d'évaluer l'évolution des politiques des entreprises en ce qui concerne l'achat et la fabrication de composants, une étude récente 39/ distingue cinq catégories de composants faisant l'objet de processus d'évolution technologique, l'objectif étant d'identifier ceux qui sont les plus susceptibles d'être achetés et ceux qui offrent des possibilités de

37/ Financial Times : "World automotive components survey; Fewer and bigger groupes", 16 mai 1990.

38/ Voir ONUDI, Industrie et développement dans le monde, rapport 1989/90, p. 112-116.

39/ Cette partie est tirée de l'étude de Hoffman et Kaplinsky: The driving force. The global restructuring of technology, labour and investment in the automobile and components industries, Westview Press, 1988.

fabrication dans l'entreprise, étant donné les politiques générales de chaque usine de montage et le choix de chacune quant aux proportions respectives des achats et des fabrications internes. Cette distinction fournit certaines indications quant au rôle que les producteurs des pays en développement peuvent jouer.

2.2.1. La technologie et les tendances quant à la répartition mondiale des sources

Composants génériques : Il s'agit des composants communs à de nombreuses industries, comme les produits de boulonnerie, de fixation etc., qui sont utilisés en grand nombre dans les véhicules sans représenter plus de 5% du coût total des composants. En général, ces composants sont de petite dimension, de sorte que le rapport coût de transport/valeur est faible aux stades de la production et de la distribution. En outre, comme la production de masse permet l'utilisation de machines spécialisées, les économies d'échelle dans l'entreprise sont importantes, la fabrication est spécialisée et souvent concentrée géographiquement, et la production est distribuée sur une base très vaste et souvent mondiale.

Peu d'indices 40/ donnent à penser que cette catégorie de composants évoluera sensiblement en ce qui concerne la nature du produit ou la technologie de production (par exemple l'automatisation flexible dans la production de produits de boulonnerie), mais à moyen terme elle pourrait être substantiellement modifiée par l'évolution de la technologie des matériaux dans la production automobile elle-même. Le facteur le plus important ici est la tendance manifeste à l'utilisation de matières plastiques offrant la possibilité de mouler des pièces complexes et ainsi de remplacer par des produits uniques des groupes de composants aujourd'hui assemblés par des éléments génériques de fixation.

Éléments volumineux non mécaniques. Parmi ceux-ci figurent les pots d'échappement, les vitres, les pièces de carrosserie embouties, les sièges, les réservoirs et les radiateurs. Ces pièces sont faciles à produire par des techniques simples. Par nature, elles sont adaptées aux caractéristiques spécifiques du produit, et comme elles ont généralement un rapport coût de transport/valeur relativement élevé, elles sont souvent fabriquées à proximité du marché de destination.

Certains composants de ce groupe font actuellement l'objet de changements technologiques importants. Ceux-ci concernent dans certains cas les processus de fabrication. Tel est le cas de composants comme les réservoirs à carburant et les pots d'échappement, dans lesquels l'introduction de la commande électronique permet un réajustement rapide du réglage des machines, facilitant ainsi l'automatisation flexible de la production.

Dans d'autres cas, on note d'importantes modifications de la conception et de la technologie des matériaux, et l'on citera à ce sujet l'introduction de réservoirs en plastique et de radiateurs en aluminium/cuivre, ou la progression des sièges moulés.

40/ Voir partie II, l'impact de la diffusion des MOCN au Japon.

Divers éléments de garnissage et de câblage. Ces composants sont traditionnellement caractérisés par une technologie assez rudimentaire et de faibles coûts de transport. A cette catégorie appartiennent les faisceaux de câbles, les poignées de porte, les interrupteurs, les garnitures extérieures et intérieures ainsi que les bougies, les distributeurs et les essuie-glaces. Comme leur contenu technologique et leurs coûts unitaires de transport sont généralement modestes, leur production est traditionnellement considérée comme une forme appropriée de spécialisation internationale pour les économies à bas salaires.

On estime généralement que l'évolution technologique aura certaines répercussions sur cette catégorie de composants. Dans le cas des faisceaux de câbles, l'évolution en faveur de la commande informatique centralisée et du câblage multiplex des automobiles risquent fort de rendre superflus ces produits à forte composante de main-d'oeuvre. De même, la tendance à l'adoption de systèmes de commande des vitres - avec consoles centralisées et systèmes d'ouverture et de fermeture électriques - risque aussi de rendre superflues les manivelles forgées. Les distributeurs sont fortement concurrencés par systèmes d'allumage électroniques, et les interrupteurs deviennent de plus en plus complexes. En outre, la mise en oeuvre de systèmes de production flexible commandés électroniquement introduit des économies d'échelle dans la production en petites séries, et la rend beaucoup plus complexe et à plus forte intensité de capital. Beaucoup de ces types de composants risquent d'être sensiblement affectés par l'introduction de systèmes à commande électronique dans la technologie de production.

Composants électromécaniques et éléments de systèmes. Cette catégorie comprend des produits tels que les carburateurs, embrayages, moteurs de démarreurs, systèmes d'allumage, freins, amortisseurs et mécanismes de direction. Traditionnellement, leur complexité technologique relative et leur faible rapport coût de transport/valeur ont amené l'industrie à les produire dans les pays industriellement avancés. Cependant, à mesure que la capacité technologique de certains pays nouvellement industrialisés progressait, la production a commencé à migrer vers ces régions.

C'est dans ce domaine qu'un impact particulièrement aigu de l'évolution technologique sur les sources de production des pays en développement peut survenir, car trois facteurs interdépendants influencent rapidement l'organisation de la production.

- D'abord l'introduction de systèmes flexibles de fabrication, et les améliorations en matière d'automatisation du montage transforment une industrie à forte participation de main-d'oeuvre en une industrie à forte participation de capital.
- Le second type de modification technologique ayant un impact sur ces catégories de composants est la modularisation de la production par le développement de sous-systèmes, généralement commandés électroniquement. Cette évolution technologique, qui facilite la mécanisation, exige un montage "systémique" et présente une plus grande complexité technologique, risque de réduire substantiellement les approvisionnements en provenance de pays en développement.

- Troisièmement, la relation entre les fournisseurs de composants et les monteurs est appelée à évoluer et à devenir plus étroite, particulièrement au stade de la conception. Dans la mesure où cette évolution se produira, l'importance du phénomène deviendra sans doute plus grande dans les productions technologiquement complexes comme celles mentionnées ci-dessus.

2.2.2. L'automatisation et l'extension géographique de la production d'outre-mer

La production automobile peut exiger des effectifs relativement importants de travailleurs non qualifiés et semi qualifiés, mais elle exige aussi une intervention considérable de la technologie, de la planification de la production et d'une coordination que l'on n'observe pas fréquemment dans les pays en développement, et qu'il n'est peut-être pas facile d'y implanter. La modicité des salaires en elle-même n'est pas une incitation suffisante pour le transfert à l'étranger d'une industrie sophistiquée. Il est essentiel que les deux éléments de limitation des coûts - bas salaires associés et bonne productivité - soient présents et qu'une production de très bonne qualité soit réalisée. Cependant, si une production sophistiquée peut être efficacement transférée outre-mer, la modicité des salaires peut permettre une réduction des coûts unitaires.

Les résultats d'une analyse comparative ^{41/} de deux fabriques similaires de moteurs situées l'une au Mexique et l'autre aux Etats-Unis offrent certaines indications intéressantes. Ces usines fabriquent le même moteur à quatre cylindres avec des volumes de production comparables, utilisent des technologies similaires dans leurs départements essentiels et sont gérées par la même division de la même société. L'usine mexicaine est de construction récente et produit seulement un type de moteur, tandis que l'usine américaine contient une nouvelle chaîne de production de moteurs, dans une installation construite il y a 27 ans, et produit quatre types de moteurs. L'analyse a porté essentiellement sur les chaînes de transfert les plus critiques, celle des blocs moteurs et celle des vilebrequins. Les chaînes d'usinage effectuent des opérations exigeant une plus grande précision, et les pannes y sont beaucoup plus fréquentes que dans les chaînes de montage. La complexité technologique et le coût des équipements immobilisés donnent une importance cruciale à l'expérience et à la qualité professionnelle du personnel salarié.

Une des principales conclusions de l'étude est que, dans les deux ans et demi qui ont suivi la création, l'usine mexicaine a obtenu des résultats comparables à ceux de l'usine des Etats-Unis pour ce qui est de l'efficacité du matériel, de la productivité du travail et de la qualité des produits. L'usine mexicaine employait des jeunes travailleurs inexpérimentés, et celle des Etats-Unis des ouvriers possédant une longue expérience. La société a sélectionné des travailleurs hautement motivés et instruits et leur a dispensé une formation intensive. Un élément crucial de succès de l'usine était la

^{41/} H. Shaiken, S. Herzenberg: Automation and global production. automobile engine production in Mexico, the United States and Canada Centre for US-Mexican Studies, University of California, San Diego, Monograph Series, 1987.

forme d'organisation qui semblait s'établir. Pour assurer le fonctionnement d'une usine automatisée, il est nécessaire de disposer d'un niveau élevé de connaissances et d'expérience qu'il faut des années pour acquérir. Comme on l'a constaté dans l'usine mexicaine, il n'est pas obligatoire que cette compétence soit également répartie dans toute l'entreprise. Lors de son lancement, l'usine fut pourvue d'un effectif assez nombreux de gestionnaires expérimentés provenant d'usines de la société implantées dans différentes parties du monde, qui décidèrent que les travailleurs qualifiés seraient normalement transférés d'une usine des Etats-Unis, et que le personnel mexicain appliquerait les directives. Cette usine, qui a introduit au Mexique une technologie et une formation de haut niveau, pourra dans une large mesure constituer un "ilot" de technologie avancée, ou si elle parvient à le doter de sources d'approvisionnement locales, jouer un rôle de catalyseur dans la diffusion plus large de techniques avancées.

Les conclusions de cette étude ne se limitent pas à l'industrie automobile. L'aptitude à construire des moteurs d'automobiles dans des pays étrangers révèle la possibilité de fabriquer aussi bien d'autres produits. A mesure que les pays industrialisés continueront à s'automatiser, la production des filiales étrangères, loin de diminuer, pourra augmenter.

3. L'automatisation industrielle dans les pays en développement

Le processus de diffusion de l'automatisation flexible parmi les pays industrialisés a progressé d'une façon inégale au début des années 1980. Cependant, cette technologie s'est maintenant largement diffusée et aura des effets sensibles sur la compétitivité et l'emploi dans les années à venir. Certains des facteurs qui ont contribué à cette évolution ne sont pas présents dans la plupart des pays en développement (par exemple la réduction des coûts de main-d'oeuvre ^{42/} ou la demande de produits plus personnalisés) ^{43/}. Cependant, l'augmentation de compétitivité dans les pays industrialisés pourrait inévitablement forcer les pays en développement à suivre le mouvement en vue soit de s'introduire sur des marchés d'exportation soit de concurrencer les produits d'importation ^{44/}. L'investissement dans l'automatisation flexible peut contribuer à l'obtention d'avantages comparatifs dynamiques.

^{42/} Avec une exception notable, celle des pays d'Asie orientale (surtout Singapour, la République de Corée et Taïwan, Province de Chine) où la pénurie de main-d'oeuvre et/ou les augmentations de salaires ont accéléré l'évolution en faveur de l'automatisation industrielle.

^{43/} Beaucoup estiment qu'à mesure que les revenus augmentent, la clientèle peut réclamer sur les marchés des produits plus spécialisés et de meilleure qualité; selon les tenants de cette opinion, les marchés de masse vont de pair avec les niveaux de vie peu élevés. Cependant, comme le soulignent Piore et Sabel (1983), cette distinction entre les besoins des pauvres et les besoins des riches est contredite par de nombreux témoignages ethnographiques d'où il ressort qu'à chaque niveau de consommation le désir de marchandises particulières est conditionné par les conceptions collectives et culturelles de la beauté et de la justice.

^{44/} En raison des mesures de libéralisation des importations prises dans un certain nombre de pays, les entreprises locales de constructions mécaniques sont maintenant exposées à la concurrence étrangère.

Après une évaluation du taux de diffusion de l'automatisation industrielle dans les pays en développement, nous examinerons certains principes directeurs concernant le choix des technologies, ainsi que les conditions préalables à remplir au niveau de l'organisation.

3.1. Diffusion des machines-outils à commande numérique dans les pays en développement

La diffusion des MOCN dans les pays en développement s'est surtout manifestée dans des pays producteurs de quantités importantes de machines-outils, et l'on ne dispose que de peu d'informations sur la diffusion des MOCN dans d'autres pays. Les inventaires de machines-outils sont rares et on ne dispose pas de données concernant la diffusion des MOCN dans les industries mécaniques. Dans certains cas, l'introduction d'équipements automatisés est due à l'initiative d'entreprises étrangères qui ont incité leurs sous-traitants à recourir à l'automatisation flexible afin d'exporter des produits de qualité 45/.

3.1.1. Pays nouvellement industrialisés (tableau 50)

La diffusion des MOCN s'est effectuée très rapidement dans les pays nouvellement industrialisés d'Asie où les entreprises ont investi afin de préserver leur compétitivité à l'exportation. Le resserrement du marché du travail, l'augmentation des salaires (100% en équivalents dollars de 1986 à 1989) et la réévaluation des monnaies ont favorisé le passage à l'automatisation.

- En 1985, la République de Corée comptait 2680 unités installées; ce nombre a plus que doublé dans les trois années suivantes pour atteindre 6500 en 1988.
- A Taïwan, Province de Chine, le nombre d'unités à CN était estimé à 6200 en 1988.
- A Singapour, l'automatisation est considérée comme prioritaire 46/ et un Plan directeur national (National Master Plan) a été lancé : en 1989, il existait 1800 machines à CN en service et 380 robots 47/.
- En Inde, le recensement des machines-outils de 1982 a montré qu'il y avait 1182 MOCN installées; trois secteurs comptaient pour plus de 70% des machines installées : la production de machines et de parties de machines, le matériel de transport et les machines électriques. A partir de 1986, on ne dispose plus de données documentées, mais une

45/ Les composants automobiles fabriqués en Amérique latine ou en Asie du Sud-Est (Malaisie et Thaïlande) en fournissent quelques exemples.

46/ Ministère du commerce et de l'industrie: Economic Survey of Singapore, 1989, p. 2^e.

47/ Dont la plupart servent à des opérations de montage et 57% sont utilisés dans les industries électronique et électrique.

enquête par échantillonnage effectuée parmi 25 grandes entreprises a fait apparaître que le pourcentage de l'automatisation flexible dans l'investissement dans le domaine des machines-outils a augmenté très sensiblement, de 25% en 1985 à 41,7% en 1989 48/.

- Le nombre de machines à CN par millier de salariés est de l'ordre de 6,5 en République de Corée, 15 à Taiwan, Chine, et de 27 à Singapour, contre 20 par millier de salariés dans les industries mécaniques des Etats-Unis.

La récession économique a ralenti la modernisation industrielle en Amérique latine. En Argentine, on comptait 350 MOCN en 1981 et 800 en 1988; la vague initiale d'acquisitions est survenue lorsque les salaires étaient relativement élevés et les importations de capitaux relativement avantageuses en raison de la surévaluation du peso; elle s'est poursuivie dans une situation de salaires relativement bas, et l'introduction des MOCN a accompagné un processus d'expansion dans des productions plus complexes. Le recours à l'automatisation flexible est parfois associée à un effort systématique en vue de la pénétration sur les marchés étrangers : tel est le cas en Argentine 49/ et au Brésil 50/. Cependant, en Colombie, les entreprises ayant le plus grand volume d'exportations n'étaient pas celles utilisant des MOCN 51/. Au Brésil, les industries de la machine-outil, de l'automobile et de la construction aéronautique sont celles qui comptent le plus grand nombre de MOCN; les principales raisons de l'introduction des MOCN en Argentine et au Brésil semblent liées à des considérations de qualité et de complexité des pièces produites et au caractère très strict des tolérances impliquées 52/.

- Au Brésil, la capacité installée de machines à CN est passée de 986 en 1981 à 1995 en 1985 et à 5970 en 1989; ces machines sont concentrées dans un nombre relativement restreint d'entreprises : 420 en 1987; il s'agit en l'occurrence de grandes entreprises (plus de 500 salariés) et de filiales d'entreprises étrangères. Selon une étude de l'Institut de recherche et de technologie de l'Université de Sao Paulo, bien que quelques constructeurs très connus de machines produisent un matériel perfectionné, l'âge moyen des machines est de 15 ans 53/.

48/ H.C. Gandhi: Etude régionale sur l'industrie de la machine-outil en Asie : le cas de l'Inde, ONUDI, 1991.

49/ D. Chudnovski: The diffusion and Production of Numerically controlled machine tools with Special reference to Argentina, World Development, vol 16 No 6 p. 723-732, 1988.

50/ Une étude effectuée en 1984 auprès des constructeurs de pièces d'automobiles a montré que les industriels utilisateurs de MOCN étaient ceux ayant le ratio d'exportation le plus élevé. R. Tauile: Automacao e competitividade, uma avaliacao das tendencias no Brasil Instituto de Economias Industrial, Rio de Janeiro, 1987.

51/ Fedemetal: Las nuevas tecnologias de base microelectronica: analisis global e impactos de su incorporacion al sector metalmeccanico de Colombia. Bogota, 1988.

52/ R. Tauile, F.E. Erber: Machine tools in Latin America, ONUDI, 1990.

53/ "Market reserve policies provoke growing conflicts as Brazil's technology lags", Business Latin America, 3 avril 1989.

Tableau 50 : Stock de MOCN dans certains pays en développement

En unités	1981	1985	1987	1989
République de Corée		2680	5000	7500
Taiwan, Province de Chine		1220	2800	6250
Brésil	986	1995	4176	5800
Singapour	60	700		1800
Mexique				1300
Argentine	350	500		
Colombie			61	
Inde			1182	

Sources : Monographie de F. Erber et M. Humbert et estimations des chiffres de production et de commercialisation.
Singapour : EDB, Economic Survey 1989.

- En Argentine, le stock de MOCN est passé de 350 en 1981 à 800 en 1989. Au début, la diffusion des MOCN s'est effectuée parmi les petites et moyennes entreprises, sans doute parce que les modèles localement produits aussi bien qu'importés étaient plus simples et moins coûteux 54/.
- Au Mexique, où il existait en 1986 409 machines-outils à CN, plus de la moitié des importations de machines-outils concernent des machines équipées de la commande numérique, et la capacité installée a été estimée à 1200 ou 1400 environ en 1989; les usines de construction automobile du secteur des "maquiladoras" comptaient une cinquantaine de machines installées.

3.1.2. Autres pays en développement

Il est difficile de chiffrer la diffusion de la CN dans les autres pays en développement pour diverses raisons : i) les données du commerce extérieur publiées par les organisations internationales (GATT, OCDE et CEE) ne font aucune distinction entre les machines classiques et les machines à CN et ii) les statistiques des pays en développement ne font pas non plus de telles distinctions.

Afin de remédier à cette difficulté, et d'obtenir une plus grande précision - aux dépens de l'homogénéité -, on a utilisé les statistiques nationales des principaux pays exportateurs. Les tableaux 47 et 48 ont été calculés à partir des statistiques japonaises du commerce et des tableaux analytiques du NIMEXE 55/ dans le cas des importations de tours et de fraiseuses, d'aléseuses et de centres d'usinage dans les pays en développement.

54/ F.E. Erber: Co-Operation in industrial automation between Argentina and Brazil, ONUDI, 1990.

55/ Publication du Bureau statistique des Communautés européennes.

Tours. Sur la base des chiffres d'exploitation (tableau 51), il apparaît que 20 pays en développement ont importé des tours à CN en 1985, et 22 en 1987; ces maigres indications ne révèlent aucune tendance en matière de diffusion étant donné que quelques pays seulement ont acheté des tours à commande numérique soit en 1985 soit en 1987 et que 29 pays en développement ont importé des tours à CN en 1985 et en 1987;

- En Asie : Chine, Hong-kong, Inde, République de Corée, Taiwan (Province de Chine), Indonésie, Malaisie, Pakistan, Philippines, Singapour, Thaïlande.
- En Amérique latine : Brésil, Mexique, Argentine, Pérou, Venezuela, Colombie et Chili.
- En Afrique et au Moyen-Orient : Iran, Iraq, Egypte, Arabie saoudite (1985), Zimbabwe (1985), Ethiopie (1985), Tunisie (1985), Sénégal (1985), Nigéria (1985), Libye (1987).
- Dans 15 pays, ces importations se sont chiffrées à plus d'un million de dollars EU.

Centres d'usinage. Les exportations de centres d'usinage du Japon et de la Communauté européenne sont allées vers 20 pays en développement en 1987, année durant laquelle 14 de ces pays en ont importé pour plus d'un million de dollars (tableau 52).

3.1.3. Perspectives

Les études disponibles laissent entrevoir un développement rapide du marché de la machine-outil à CN dans les pays en développement à revenu moyen:

- En République de Corée, la demande intérieure de MOCN devrait passer de 3700 unités en 1990 à 7000 en 1995 et 14 000 en 2000 56/ : le principal grand débouché sera l'industrie des véhicules à moteur, qui comptera pour 55% de la demande, précédant ainsi l'industrie de la machine-outil.
- Une étude de l'Organisation arabe de développement industriel effectuée dans les pays arabes laisse entrevoir que la demande de machines-outils à CN progressera au taux moyen de 10% entre 1990 et 2000 57/ tandis que la demande de machines classiques augmentera de 4% annuellement.
- En République populaire de Chine, on a estimé que la demande de systèmes à CNC passera de 2000 unités en 1989 à 5000 en 1995 et à 7000 en 1997 58/.

56/ Korea Institute for Economics and Technology: Mecatronics 1989 dans Judet: L'industrie de la machine-outil en Corée, ONUDI, 1990.

57/ AIDO: The development of machine-tool industry in Arab countries, 1987.

58/ Données tirées du projet de l'ONUUDI DP/CPR/89/017/A/01/37.

Tableau 51 : Importations de tours en provenance du Japon
et d'Europe en 1987
(milliers de dollars)

	CN	automatiques	autres	total	% CN	% automatiques
République de Corée	36013	0	5417	41431	87%	0
Inde	21071	3561	3935	28568	74%	0,12
Taiwan (Chine)	16193	4380	1166	21739	74%	0,20
Chine	12834	2407	4605	19846	65%	0,12
Indonésie	11749	648	10348	22745	52%	0,03
Iran	9799	1434	8538	19770	50%	0,07
Zimbabwe	7836	6916	3351	18103	43%	0,38
Singapour	7112	3903	3202	14217	50%	0,27
Malaisie	4267	0	81	4348	98%	0
Thaïlande	3603	1838	2385	7826	46%	0,23
Venezuela	3528	0	1738	5266	67%	0
Bésil	3365	121	3057	6544	51%	0,02
Hong-kong	3304	2931	534	6769	49%	0,43
Chili	1847	0	0	1847	100%	0
Mexique	1779	1229	40	3048	58%	0,40
Iraq	1572	1416	2594	5582	28%	0,25
Pakistan	1231	0	1769	3000	41%	0
Libye	1045	316	917	2277	46%	0,14
Yougoslavie	478	0	0	478	100%	0
Philippines	429	291	405	1126	38%	0,26
Argentine	138	1418	11	1567	9%	0,90
Egypte	81	89	1132	1302	6%	0,07
Algérie	0	7223	2688	9911	0%	0,73
Arabie Saoudite	0	0	921	921	0%	0
Banladesh	0	0	413	413	0%	0
Birmanie	0	40	502	543	0%	0,07
Burundi	0	0	63	63	0%	0
Colombie	0	0	6	6	0%	0
Ethiopie	0	0	1098	1098	0%	0
Gabon	0	0	0	0		
Kenya	0	0	40	40	0%	0
Maroc	0	0	40	40	0%	0
Nigéria	0	0	1027	1027	0%	0
Pérou	0	0	851	851	0%	0
Sénégal	0	0	0	0		
Tunisie	0	0	902	902	0%	0
Zaire	0	0	618	618	0%	0

Sources : Données du NIMEXE et des statistiques japonaises du commerce.

Tableau 52 : Importations de centres d'usinage, d'aléseuses et de fraiseuses

(en provenance d'Europe et du Japon en 1987)
(milliers de dollars)

	Centres d'usinage	Aléseuses à CN	Fraiseuses à CN	Sans CN	TOTAL	Centres d'outillage	CN
Algérie	0	0	0	1709	1709	0%	0%
Arabie saoudite	0	0	81	1763	1844	0%	4%
Argentine	374	0	867	1184	2425	15%	36%
Banladesh	0	0	211	2204	2415	0%	9%
Bésil	6079	0	5344	3062	14485	42%	37%
Birmanie	0	0	0	0	0		
Burundi	0	0	0	0	0		
Chili	0	0	10500	5247	15747	0%	67%
Chine	14131	3285	11035	4491	32945	43%	43%
Colombie	589	0	29575	10988	41152	1%	72%
République de Corée	12682	21089	1649	11041	46461	27%	49%
Egypte	685	0	0	1350	2035	34%	0%
Ethiopie	0	0	0	1661	1661	0%	0%
Gabon	0	0	3470	2374	5844	0%	59%
Hong-kong	3748	0	3104	10578	17430	22%	18%
Inde	9635	1203	9217	8453	28508	34%	37%
Indonésie	11447	1171	0	6488	19106	60%	6%
Iran	1426	0	6084	5279	12789	11%	48%
Iraq	0	0	2974	24	2998	0%	99%
Kenya	0	0	1008	98	1106	0%	91%
Libye	707	0	260	187	1154	61%	23%
Malaisie	805	0	423	32	1260	64%	34%
Mexique	740	0	1007	0	1747	42%	58%
Maroc	0	0	0	33	33	0%	0%
Nigeria	0	575	0	0	575	0%	100%
Pakistan	1325	0	0	1149	2474	54%	0%
Pérou	0	0	33	187	220	0%	15%
Philippines	1902	0	852	74	2828	67%	30%
Sénégal	0	0	1813	2463	4276	0%	42%
Singapour	7463	0	10033	20085	37581	20%	27%
Taiwan (Chine)	21878	1780	2869	4531	31058	70%	15%
Thaïlande	2049	0	0	1856	3905	52%	0%
Tunisie	0	0	666	0	666	0%	100%
Venezuela	1057	0	668	2317	4042	26%	17%
Zaire	0	0	0	0	0		
Yougoslavie	7222	0	6661	1997	15880	45%	42%

Sources : Données du NIMEXE et des statistiques japonaises du commerce.

- Dans le cas du Pérou, on a estimé que la demande de machines-outils à CN pourrait dans un proche avenir s'établir à près de 40% du total de la demande de machines-outils.

3.2. Choix de la technologie

Les pays en développement peuvent disposer de machines-outils ayant différents niveaux de sophistication, qui toutes peuvent trouver des utilisations rentables. Les équipements de type avancé ne sont indispensables que dans un nombre très limité de cas (encadré 23).

Pour un pays en développement, la première option dans le choix d'une technologie d'usinage est celle des machines classiques simples comme les tours à pointe, les étaux-limeurs et les fraiseuses ^{59/}. Cependant, lorsqu'il s'agit de composants de plus grande taille et plus lourds, ou lorsqu'un volume de production important est indispensable, il faut une main-d'oeuvre nombreuse et de gros efforts manuels pour utiliser des machines simples. Parmi les options qui peuvent s'offrir figurent les machines spécialisées, les chaînes de transfert, les machines à CN, les cellules flexibles de fabrication et les systèmes flexibles de fabrication. Dans la plupart des pays en voie de développement, des équipements avancés sont importés, ce qui nécessite de gros investissements, et l'utilisation de ces équipements n'est justifiée que lorsque les volumes de production sont importants.

Parmi les technologies d'automatisation flexible, les MOCN apparaissent les plus appropriées pour les pays en développement, en raison de la maturité relative de cette technologie. L'économie de compétences qu'elles permettent ^{60/} constitue également un argument de poids en faveur des MOCN. Il ressort des indications disponibles que lorsque les pays en développement sont déjà d'efficaces utilisateurs de machines-outils classiques, ils se retrouvent confrontés à de sérieux problèmes de personnel qualifié lorsqu'ils doivent utiliser des MOCN, mais que d'autre part les coûts de capital, les besoins d'échelle, les disponibilités en personnel qualifié, les marchés protégés et les aides à attendre de la part des fournisseurs peuvent poser des problèmes en ce qui concerne l'application plus large de cette technologie.

L'un des principaux avantages des MOCN est leur flexibilité. Cependant, la flexibilité ne vient pas automatiquement ^{61/}. Les MOCN n'offrent pas d'économies d'échelle, mais l'expérience des entreprises moyennes de pays industrialisés montre que bien souvent un matériel flexible est utilisé pour fabriquer un groupe de composants similaires. Une usine étant organisée pour produire des composants spécifiques, il faut procéder à une évaluation technologique de l'usine et mettre en oeuvre des modifications organisationnelles pour tirer parti des avantages de la flexibilité des MOCN. Ces modifications sont parfois coûteuses.

^{59/} Voir: Selection of appropriate machining technology, dans A study of the machine-tool industry, NDFC Pakistan, 1988.

^{60/} Economie qui doit être déterminée compte tenu des compétences plus grandes requises au niveau des ateliers de réparation et d'entretien.

^{61/} P. Padilla: "Amélioration de la productivité d'exploitation des centres d'usinage et de tournage", CETIM informations No 108, décembre 1988.

Encadré 23 : Problèmes de l'importation de la technologie de la commande numérique

Une enquête sur la productivité en Asie effectuée chez des producteurs de machines-outils de Taïwan, Province de Chine, a permis d'identifier les difficultés suivantes, relatives à l'importation de machines-outils à CN :

- les gestionnaires sont insuffisamment informés des nouvelles technologies : la plupart ont appris la technologie durant leurs années d'apprentissage et ne comprennent pas très bien les nouvelles techniques, qu'ils ne cherchent à introduire que lorsque l'existence de leur entreprise est menacée;
- la résistance des travailleurs aux modifications introduites dans la structure organisationnelle;
- les risques élevés tenant au fait que l'amortissement des gros investissements effectués peut être incertain et ne se manifester qu'à long terme.

Les résultats sont souvent inférieurs aux espérances :

- Les gestionnaires ne donnent pas une attention suffisante à l'introduction des nouvelles technologies;
- les travailleurs peu qualifiés ne peuvent s'adapter à la nouvelle technologie, même si un enseignement leur est dispensé, et la médiocrité de l'environnement de travail et des rémunérations n'attirent guère les personnels ayant de solides compétences techniques;
- la gestion de type familial ne peut satisfaire aux exigences des nouvelles technologies

Hyung Sup Choi (Edit): Hybrid of Man and Technology Asian Productivity Organization, Tokyo 1989.

Le manque de préparation de l'entreprise avant l'introduction des MOCN par les fournisseurs de performances théoriques non vérifiées, le manque de formation et le manque de maîtrise technologique ont souvent donné d'amers résultats dans des pays industrialisés. Le tableau 49 indique les résultats financiers de plusieurs types d'investissements technologiques: CAO, cellules flexibles et machines-outils à CN. Dans de nombreuses entreprises françaises, l'introduction de ces technologies n'a pas entraîné d'avantages financiers: une enquête effectuée au Royaume-Uni dans 250 entreprises a mené à des conclusions similaires (tableau 53).

L'investissement dans les MOCN doit être analysé très soigneusement sur la base de méthodes éprouvées (figure 33). Afin de conseiller les entreprises de construction mécanique des pays en développement, il convient de promouvoir les services de consultants par le truchement d'associations professionnelles ou de centres techniques.

3.3. Modifications organisationnelles

L'un des principaux défis que devront relever les pays en développement dans les années 1990 concernera les moyens d'accroître leur compétitivité industrielle en réaction aux percées technologiques effectuées dans les pays industrialisés. L'introduction d'équipements avancés semble constituer une solution si les conditions préalables sont remplies en ce qui concerne l'amélioration de la gestion et l'organisation de la production : "on n'achète pas un système de fabrication flexible, on devient un système de fabrication flexible" 62/. Une part importante des gains résultant de l'investissement dans l'automatisation flexible provient des changements organisationnels et, comme plusieurs auteurs l'ont souligné 63/, tout ceci donne à penser que ces innovations organisationnelles constituent en fait un logiciel séparable de l'évolution technique et susceptible d'éliminer la nécessité d'acquérir le matériel. Parmi les plus importants changements au niveau de l'organisation, il faut mentionner les systèmes juste à temps et Kan Ban (encadré 24).

3.3.1. Conception et fabrication

Dans plusieurs cas 64/, l'automatisation peut se révéler superflue, et de plus grands gains d'efficacité peuvent être obtenus en adoptant de nouvelles procédures de gestion afin d'améliorer la coordination entre les différentes activités à l'intérieur de l'entreprise.

62/ Bessant: Integrated Manufacturing, ONUDI, 1987.

63/ Final Report of the Meeting of International Experts on a Programme for Industrial Automation in the Capital Goods Industry of Latin America, Vienne, 27-28 novembre 1989, ONUDI, et K. Hoffman: Technological advance and organizational innovation in the engineering industry, Industry and Energy Department Working Paper, Industries Series Paper No 4, Banque mondiale.

64/ Voir Made in America, regaining the productive edge, qui met l'accent sur ce point particulier.

Encadré 24 : Changements organisationnels dans les pays en développement

Les exemples de tels changements demeurent anecdotiques :

- A Singapour une filiale japonaise productrice de machines-outils a mis en application la technique dite "juste à temps" depuis le début des années 1980, ce qui a entraîné un accroissement de 70% de la productivité.
- Au Venezuela, dans une société de construction mécanique qui a opéré des réformes organisationnelles au début des années 1980, la productivité a augmenté de 25%, et de sérieuses améliorations ont été constatées : réduction du nombre de produits retournés par les clients et de pièces mises au rebut.
- Au Brésil, une enquête menée parmi les fournisseurs de composants et les assembleurs de véhicules a montré que l'industrie nationale de construction de véhicules insiste pour obtenir des livraisons plus fréquentes : elle applique le "juste à temps" externe et fait usage de sa position dominante pour transférer le stockage chez les fournisseurs, qui n'ont d'autre choix que d'appliquer le "juste à temps". L'industrie automobile n'a pas établi d'autres liens de coopération avec ses fournisseurs, ce qui reflète la difficulté d'adoption de nouvelles techniques d'organisation dans l'ensemble du système industriel.

Les fournisseurs qui ont réorganisé leurs filières de production avant la mise en oeuvre des systèmes de Kan-Ban ont obtenu de meilleurs résultats que les autres.

Adaptation des études citées ci-après :

Technical Advance and organizational innovation, Industry and Energy working papers, Banque mondiale, 1990.

Bessant et Rush: Integrated Manufacturing, ONUDI 1987.

Roberto Rocha Lima : Implementing the Just-in-Time production system in the Brazilian car component industry, and IDS Bulletin, 1989, Vol. 20, No 4.

Tableau 53 : Avantages tirés de la technologie de fabrication avancée
en pourcentage

Technologie	France	
	Succès financiers	
	Oui	Non
CAO	25	75
Centre flexible de fabrication	10	90
Robots	10	90
MOCN	55	45

Avantage	Royaume-Uni	
	Nul à faible	Modéré à important
CAO	46	54
FAO	46	54
Système flexible de fabrication	67	33
Robots	76	24

Sources : France : CETIM
Royaume-Uni : Enquêtes auprès de 250 usines effectuées par le
British Institute of Management, Cranfield 1986
Bessant, UNIDO/IPCT.70 1988.

Tel est particulièrement le cas entre la conception et la fabrication. Alors que les dépenses de conception en elles-mêmes ne représentent qu'une faible part du coût total d'un produit, la conception détermine une grande part des frais de production, d'essai et de service, étant donné que jusqu'à 90% des coûts de production sont en fait conditionnés par des décisions faites au stade de la conception longtemps avant que les plans ne parviennent dans l'usine ^{65/}. Dans de nombreuses entreprises, le personnel de ces deux services ne communique que de temps à autre, et un produit est conçu pour une certaine fonction puis transmis ("expédié par dessus le mur") au département de fabrication. Les concepteurs ne tiennent pas toujours en considération les problèmes de fabrication, ce qui entraîne des retards à la production. La collaboration étroite ("concurrent engineering") ^{66/}, entre la conception, la production et la commercialisation permettra d'éviter ces difficultés. La disponibilité d'outils informatisés permet plus facilement de stimuler la coopération entre les départements. Au lieu de transmettre les informations d'un niveau à l'autre, avec approbation des gestionnaires à chaque niveau, les équipes peuvent communiquer électroniquement et prendre eux-mêmes des décisions. Cette transformation peut également s'étendre aux fournisseurs.

^{65/} Une étude de Ford a montré que 70% des coûts sont gelés dès l'achèvement des travaux de conception (voir document de travail du MIT sur la productivité industrielle).

^{66/} Business Week: "A smarter way to manufacture, special report" 30 avril 1990.

L'analyse des fonctions du produit peut être effectuée à l'aide de progiciels afin de réduire le nombre de pièces de ce produit, et la conception peut rendre l'automatisation superflue en rendant le montage manuel plus fiable 67/.

3.3.2. Approche graduelle à l'automatisation

Beaucoup de monographies réalisées dans des pays industrialisés concluent que la décision d'investir dans le matériel d'automatisation flexible ne peut donner tous ses avantages que si elle a été précédée ou accompagnée par des modifications parallèles au sein de l'organisation : "tout ce que l'on obtient lorsqu'on met un ordinateur dans une organisation chaotique, c'est le chaos informatisé" 68/.

La stratégie en vue de l'automatisation industrielle doit s'effectuer selon une approche graduelle 69/ commençant par une réorganisation visant à améliorer la productivité et la flexibilité; les changements concerneront l'agencement de l'usine, l'amélioration des compétences, l'adoption de nouvelles dispositions de travail, de planification et d'ordonnement et le contrôle de la production. Une autre possibilité d'évolution progressive de méthode traditionnelle de fabrication vers la fabrication avancée au niveau de l'usine est l'établissement d'un "îlot de fabrication autonome" 70/ pour un groupe déterminé de pièces. Pour ces pièces, on peut combiner des machines classiques et des machines à commande numérique pour effectuer les diverses opérations d'usinage tandis que la planification et le contrôle de la production, les flux de matériaux et les séquences d'opération sont optimisés à l'aide d'ordinateurs. Ce concept englobe également la gestion des outillages et la maintenance des machines et des installations fixes. L'investissement immédiat pour l'établissement d'un îlot de fabrication autonome est comparativement faible, et le concept de l'îlot peut facilement être étendu à d'autres groupes de pièces dans la même usine ou dans d'autres établissements. Simultanément, le passage des machines-outils classiques aux machines-outils à CNC peut être réalisé à mesure que des ressources financières sont dégagées en vue de l'investissement et de l'amélioration de la main-d'oeuvre qualifiée et des services d'ingénierie.

La réorganisation doit s'étendre au-delà du niveau de l'entreprise avec la mise sur pied d'une politique de sous-traitance appropriée susceptible d'améliorer la flexibilité, comme il ressort des exemples de l'Italie et du Japon 71/.

67/ Daniel E. Whitney: "Manufacturing by design". Harvard Business Review, juillet-août 1988.

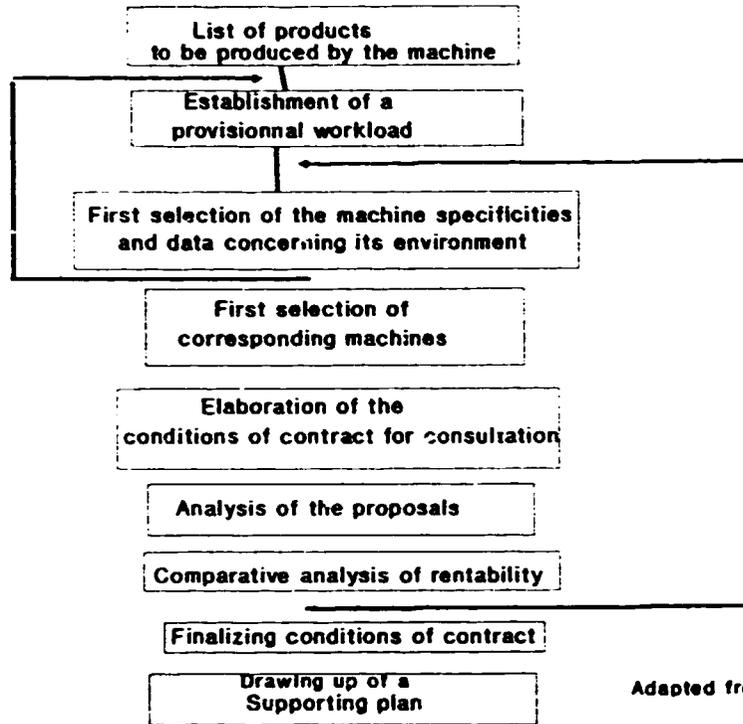
68/ Dans John Bessant et Howard Rush: Integrated manufacturing Technology Trends, Série No 8, PICT.70, ONUDI octobre 1988.

69/ Comme l'ont préconisé les participants à la réunion du groupe d'experts sur l'automatisation industrielle (ONUDI, novembre 1989).

70/ Solution proposée par l'UNIDO/DIO/ENG dans un vaste projet en cours concernant la machine-outil en Chine.

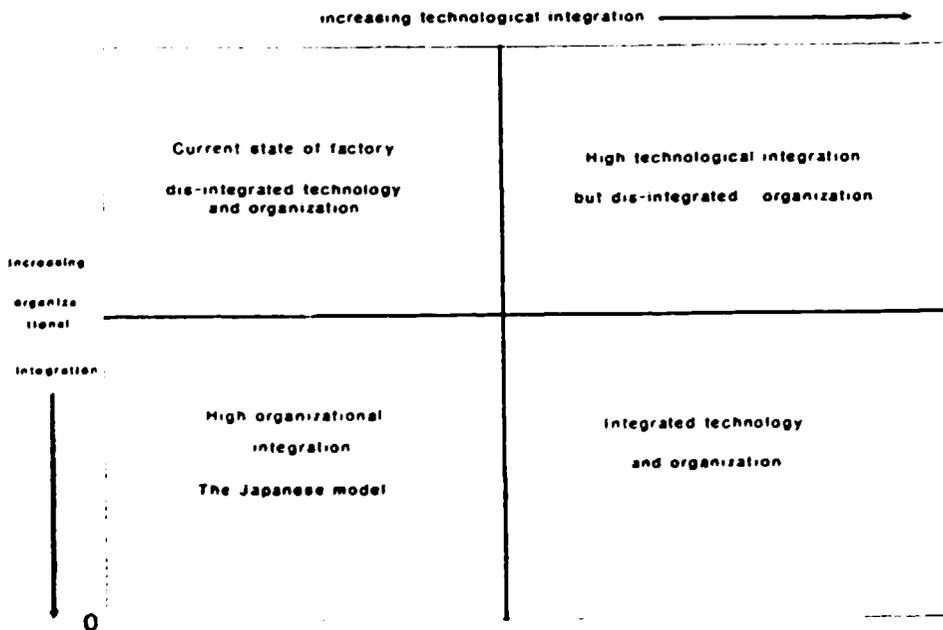
71/ Dans ces deux pays, l'existence d'un réseau vaste et flexible d'entreprises sous-traitantes apparaît liée au niveau élevé de diffusion des MOCN (voir II).

Figure 33 : Principes directeurs pour l'acquisition d'une machine-outil à CN



Adapted from Padilla/CETIM

Figure 34 : Approche graduelle à la fabrication intégrée



Source: John Bessant UNIDO Technology Trend Series Number 8