



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



18847-F

Distr. LIMITEE

ID/WG.508/6(SPEC.)
3 décembre 1990

Organisation des Nations Unies pour le développement industriel

FRANCAIS

Original : ANGLAIS

Réunion régionale d'experts pour
l'Amérique latine sur l'industrie
des biens d'équipement, et plus
particulièrement les machines-outils

Santiago (Chili), 8-11 avril 1991

**TENDANCES MONDIALES DE L'INDUSTRIE DE LA MACHINE-OUTIL :
IMPACTS SUR LES UTILISATEURS ET LES FABRICANTS
DANS LES PAYS EN DEVELOPPEMENT***

Document établi
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 la part de l'ONU. Traduction d'un document n'ayant pas fait l'objet d'une mise au point rédactionnelle.

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
I. INTRODUCTION A L'INDUSTRIE DE LA MACHINE-OUTIL	5
1. UNE INDUSTRIE STRATEGIQUE	5
2. MACHINES-OUTILS	5
2.1 Machines travaillant par enlèvement et par formage du métal	6
2.2 Machines à commande conventionnelle, automatique et numérique	6
3. CARACTERISTIQUES DE L'INDUSTRIE DE LA MACHINE-OUTIL	7
3.1 Une industrie entrée dans l'âge adulte	7
3.2 Structure du marché	9
3.3 Taille des entreprises	9
3.4 Sous-traitance	10
3.5 Technologie intensive	11
II. PRODUCTION ET COMMERCE DES MACHINES-OUTILS A TRAVERS LE MONDE	11
1. PRODUCTION	11
1.1 Principaux pays producteurs	11
1.2 Pays en développement	15
1.2.1 Industries mécaniques et demande de machines-outils	15
1.2.2 Les principaux pays producteurs	16
1.2.2.1 Argentine	16
1.2.2.2 Brésil	16
1.2.2.3 Chine	18
1.2.2.4 Inde	18
1.2.2.5 République de Corée	18
1.2.2.6 Province chinoise de Taiwan	18
1.2.3 Avantage comparé des pays en développement	18
2. COMMERCE INTERNATIONAL DE LA MACHINE-OUTIL	20
2.1 Principaux pays importateurs et exportateurs	20
2.2 Importations de pays en développement	22
3. PREVISIONS CONCERNANT LE MARCHE MONDIAL DE LA MACHINE-OUTIL	24
III. CHANGEMENTS TECHNOLOGIQUES	24
1. DE LA PRODUCTION EN SERIE A L'AUTOMATISATION FLEXIBLE	24
2. AUTOMATISATION DE L'EQUIPEMENT DETACHE	27
2.1 Diffusion de la machine-outil à commande numérique par type de machines	26
2.1.1 Tours	28
2.1.2 Alésage, perçage, fraisage	28
2.1.3 Machines travaillant par formage du métal	29

TABLE DES MATIERES (suite)

	<u>Page</u>
2.2 Diffusion de la machine-outil à commande numérique dans les pays industrialisés	29
2.2.1 Parc de machines	29
2.2.2 Diffusion parmi les petites entreprises industrielles et les sous-traitants	30
2.2.3 Prévision pour les années 90	30
2.3 Machines-outils à commande numérique dans les pays en développement	32
2.3.1 Production : données provenant des nouveaux pays industrialisés	32
2.3.2 Diffusion de la machine-outil à commande numérique dans les pays en développement	35
2.3.2.1 En Asie	35
2.3.2.2 En Amérique latine	36
2.3.3 Autres pays en développement	36
2.3.4 Perspectives	37
3. INTEGRATION DES SYSTEMES	37
3.1 Systèmes de fabrication flexibles	37
3.2 Fabrication intégrée par ordinateur	40
IV. QUESTIONS QUI POURRAIENT ETRE EXAMINEES A LA CONSULTATION	40
1. CONDITIONS DE L'ENTREE ET DU PROGRES TECHNOLOGIQUE DANS L'INDUSTRIE DE LA MACHINE-OUTIL	41
1.1 L'entrée dans la filière de la machine-outil	41
1.1.1 Contraintes	41
1.1.2 Gamme de production	42
1.1.3 Intégration	42
1.1.4 Politique industrielle : promotion de la compétitivité nationale	42
1.2 L'accès aux machines-outils à commande numérique	45
1.2.1 Difficultés	45
1.2.2 Compétitivité	48
2. CONSIDERATIONS RELATIVES A L'UTILISATION DE TECHNIQUES DE MACHINES-OUTILS AVANCEES DANS LES INDUSTRIES DE LA METALLURGIE ET DE LA MECANIQUE	48
2.1 Automation industrielle dans les pays en développement	49
2.2 Changements organisationnels	49
2.3 Achat de matériel	50
3. ELEMENTS DE COOPERATION REGIONALE ET INTERNATIONALE DANS LA PRODUCTION ET L'UTILISATION DE MACHINES-OUTILS	51

TABLEAUX

	Page
1. Production mondiale de machines-outils et de matériel électronique	5
2. Parc de machines-outils au Japon et aux Etats-Unis d'Amérique	7
3. Principaux fabricants de machines-outils dans le monde	12
4. Production de machines-outils (1977-1989)	13
5. Nombre de demandes de brevets 1982-1988	15
6. Les 10 pays principaux exportateurs et importateurs	22
7. Prévisions mondiales concernant la machine-outils 1988-1995	25
8. Machine-outil à commande numérique en pourcentage de la production et de la consommation (mesurées en valeur) de la machine-outil travaillant par enlèvement des métaux dans des pays choisis, en 1988	31
9. Evolution du parc de machines-outils à commande numérique	32
10. Production de machines-outils à commande numérique dans les pays en développement choisis	33
11. Parc de machines-outils à commande numérique dans des pays en développement choisis	35
12. Répartition des systèmes de fabrication flexibles totalement intégrés	38
13. Répartition sectorielle des systèmes de fabrication flexibles	39

FIGURES

1. Demande mondiale par type de machine en termes de valeur	8
2. Du conventionnel à l'automatique	8
3. Production mondiale de machines-outils	14
4. Part des principaux pays producteurs dans la production mondiale (1977-1989)	14
5. Marché des machines-outils et développement des industries mécaniques (1988)	17
6. Argentine - Production, consommation et commerce	17
7. Brésil - Production, consommation et commerce	17
8. Chine - Production, consommation et commerce	19
9. Inde - Production, consommation et commerce	19
10. Chine (Taiwan) - Production, importation et exportations	19
11. République de Corée - Production, importation et exportations	19
12. Evolution entre 1980 et 1989 des positions des pays en développement en ce qui concerne les avantages comparatifs	21
13. Direction des flux commerciaux, 1987	23
14. Importations de machines-outils (et de pièces) par les pays en développement	23
15. Prévision de la proportion de commandes numériques dans la production et l'installation de machines-outils travaillant par enlèvement des métaux	34
16. Diagramme en forme de losange de l'industrie de la machine-outil	44

ENCADRES

1. Principales machines-outils	6
2. Segmentation du marché	9
3. Principes du juste à temps, du Kan-Ban et du Kan-Ban plus effet alpha	26
4. Principales contraintes techniques rencontrées par les fabricants de machines-outils à commande numérique	46
5. Choix d'un mode de transfert technologique pour la mise au point d'une technique de commande numérique	47

I. INTRODUCTION A L'INDUSTRIE DE LA MACHINE-OUTIL

1. UNE INDUSTRIE STRATEGIQUE

L'industrie de la machine-outil est un petit secteur de l'industrie manufacturière dont les ventes mondiales se chiffraient à 42 milliards de dollars en 1989. C'est un secteur dont la croissance est assez lente : son chiffre d'affaires représentait 15 % de celui du secteur de l'électronique en 1974 et 9 % en 1989.

Tableau 1
Production mondiale de machines-outils et de matériel électronique
(En milliards de dollars)

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

Sources : American Machinist
Yearbook of world electronics data.

Malgré sa taille relativement modeste, l'industrie de la machine-outil est généralement considérée comme un secteur stratégique. Son importance tient principalement au rôle qu'elle joue dans le processus d'apprentissage industriel : elle fournit des techniques de fabrication en amélioration constante qui, par le biais de l'automatisation, qu'il s'agisse des machines ou des méthodes, contribuent de manière déterminante à l'amélioration de la productivité. Ce rôle stratégique a souvent expliqué et justifié l'intervention de l'Etat. Toutefois, mis à part le cas de pays à planification centralisée et de certains pays en développement, les entreprises du secteur public sont peu présentes dans cette branche, bien que les politiques industrielles mettent l'accent sur la promotion de la R-D, les achats d'équipement, les efforts de restructuration et les plans de modernisation.

En raison de son impact sur les branches utilisatrices, l'existence d'une industrie nationale de la machine-outil compétitive peut offrir certains avantages à l'industrie mécanique locale; dans la plupart des cas cependant, la relation entre la compétitivité de l'industrie de la machine-outil et la compétitivité des industries manufacturières n'est pas évidente. En revanche, il apparaît de plus en plus 1/ que l'industrie mondiale de la machine-outil assure le transfert de la technologie aux industries mécaniques.

2. MACHINES-OUTILS

Alors que les machines sont affectées à la fabrication d'un produit donné, les machines-outils ont pour caractéristique de pouvoir exécuter une opération déterminée. Toutes sortes de machines-outils sont apparues au fil des ans : on en compte actuellement quelque 3 000 types qui diffèrent par la fonction qui leur est assignée, leurs dimensions, leur poids, les moyens de commande, leurs caractéristiques et leurs prix.

2.1 Machine travaillant par enlèvement et par formage du métal

Les machines-outils travaillant par enlèvement découpent le métal excédentaire pour produire une pièce de la taille et de la forme désirées. Les machines-outils travaillant par formage procèdent par pressage, pliage, cisailage, etc. (encadré 1).

Les proportions respectives de machines travaillant par enlèvement (75 % de la demande totale) et par formage (25 %) n'ont pas varié, mais la structure à l'intérieur de chacun des deux sous-groupes a changé. La figure 1 présente l'évolution en pourcentage de la demande mondiale en valeur en 1980 et en 1988 2/. Du fait du développement des machines à fonctions multiples, la part des tours, aléseuses et fraiseuses a un peu diminué dans la demande. En revanche, les centres d'usinage et les machines à décharges électriques ont gagné du terrain sur les marchés spécialisés.

2.2 Machines à commande conventionnelle, automatique et numérique

Les machines-outils conventionnelles sont commandées par un opérateur qualifié; après avoir étudié un photocalque, il dirige manuellement la machine sur la base de sa connaissance de la machine-outil et de son interprétation du dessin. De récentes innovations ont dispensé l'opérateur de certaines tâches manuelles, mais il continue d'assurer le pilotage de la machine. Malgré la diffusion des machines à commande numérique, les machines-outils conventionnelles représentent encore neuf sur dix des machines équipant les industries mécaniques des pays industrialisés.

Encadré 1. Principales machines-outils

<u>Machines travaillant par enlèvement du métal</u>	<u>Machines travaillant par formage</u>
Tours	Presse
Fraiseuses	Machines à cisailier, enlever les copeaux et entailler
Perceuses	Plieuses et machines à former
Aléseuses	Machines à forger et estamper
Rectifieuses	
Centres d'usinage	
Machines à tailler les engrenages	
Machines à mandriner à la broche	
Machines à roder à la pierre et par poudre abrasive	
Découpage électrochimique	

Le tableau 2 présente les résultats des inventaires effectués aux Etats-Unis d'Amérique (1988) et au Japon (1987). Ce sont les Etats-Unis qui détiennent le parc de machines-outils le plus important; 50 % sont concentrées dans les industries mécaniques (qui englobent le sous-secteur de la machine-outil). Au Japon 34,6 % des machines-outils sont utilisées par les industries du matériel de transport, contre 16 % au Royaume-Uni et aux Etats-Unis et 24 % en France.

Tableau 2
Parc de machines-outils au Japon et aux Etats-Unis d'Amérique

	Etats-Unis 1988		Japon 1987	
	Nombre	Pourcentage	Nombre	Pourcentage
Industries métallurgiques	320 699	13,8	61 207	7,7
Industries mécaniques	1 157 009	49,7	247 231	31,2
Fabrication d'appareils électriques, électroniques	425 208	18,3	133 175	16,8
Matériels de transport	378 993	16,3	274 060	34,6
Matériel de précision	28 682	1,2	42 994	5,4
Autres	16 190	0,7	34 308	4,3
Total	2 326 781	100,0	792 975	100,0

Les machines-outils automatiques ont été mises au point après l'introduction de nouveaux matériaux au début du XXème siècle. Elles sont généralement fabriquées pour exécuter une séquence donnée d'opérations en faisant l'usage maximum de l'outillage. Cependant, la production en grandes séries représente moins de 20 % de la production totale dans les industries mécaniques où domine la production en petites séries 3/. Le problème était donc d'automatiser les machines-outils tout en conservant leur souplesse d'emploi.

Alors que dans une machine classique les informations sont transférées directement à la machine par l'opérateur et ensuite de la machine à la pièce, dans une machine à commande numérique, les informations sont traduites dans le langage symbolique du microprocesseur qui élaborera les programmes de travail détaillés afin que la pièce soit fabriquée conformément aux spécifications du concepteur. Il suffit de changer les instructions pour que la machine passe de la production d'une pièce à la production d'une autre pièce. La machine à commande numérique permet le positionnement automatique des composantes (sélection de la vitesse, commande des mouvements de l'outil). Le degré d'automation est fonction de l'importance de la tâche et de la flexibilité nécessaire, comme le montre la figure 2. Si les industries produisant en série, qui sont caractérisées par une grosse production annuelle par pièce et par le petit nombre des variantes ont intérêt à choisir des machines spécialisées (machine-transfert), les industries produisant de nombreuses variantes d'une même pièce en très petites quantités auront avantage à choisir des machines-outils à commande numérique isolée.

3. CARACTERISTIQUES DE L'INDUSTRIE DE LA MACHINE-OUTIL

3.1 Une industrie entrée dans l'âge adulte

La part de l'industrie de la machine-outil dans le PIB est inférieure à 1 % dans la plupart des pays industrialisés, alors que sa part de la valeur manufacturière ajoutée est de l'ordre de 1 à 3 %.

L'industrie de la machine-outil possède un certain nombre de traits caractéristiques d'un secteur entré dans l'âge adulte : la production augmente lentement, le taux d'innovation est relativement faible; les pays en développement se placent sur le marché international et deviennent concurrentiels. A quelques exceptions près (par exemple le découpage au laser), l'industrie mécanique utilise des techniques bien rodées et les

FIGURE 1. DEMANDE MONDIALE PAR TYPE DE MACHINE EN TERMES DE VALEUR

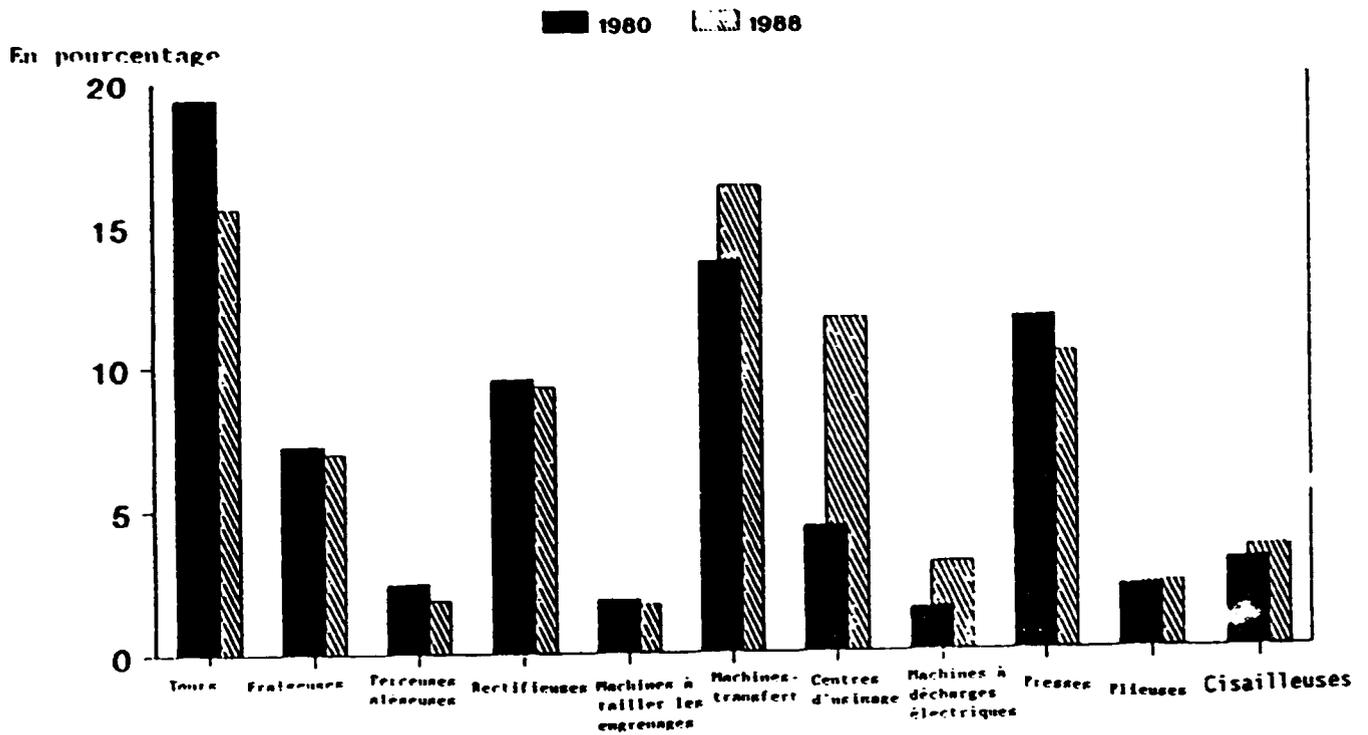
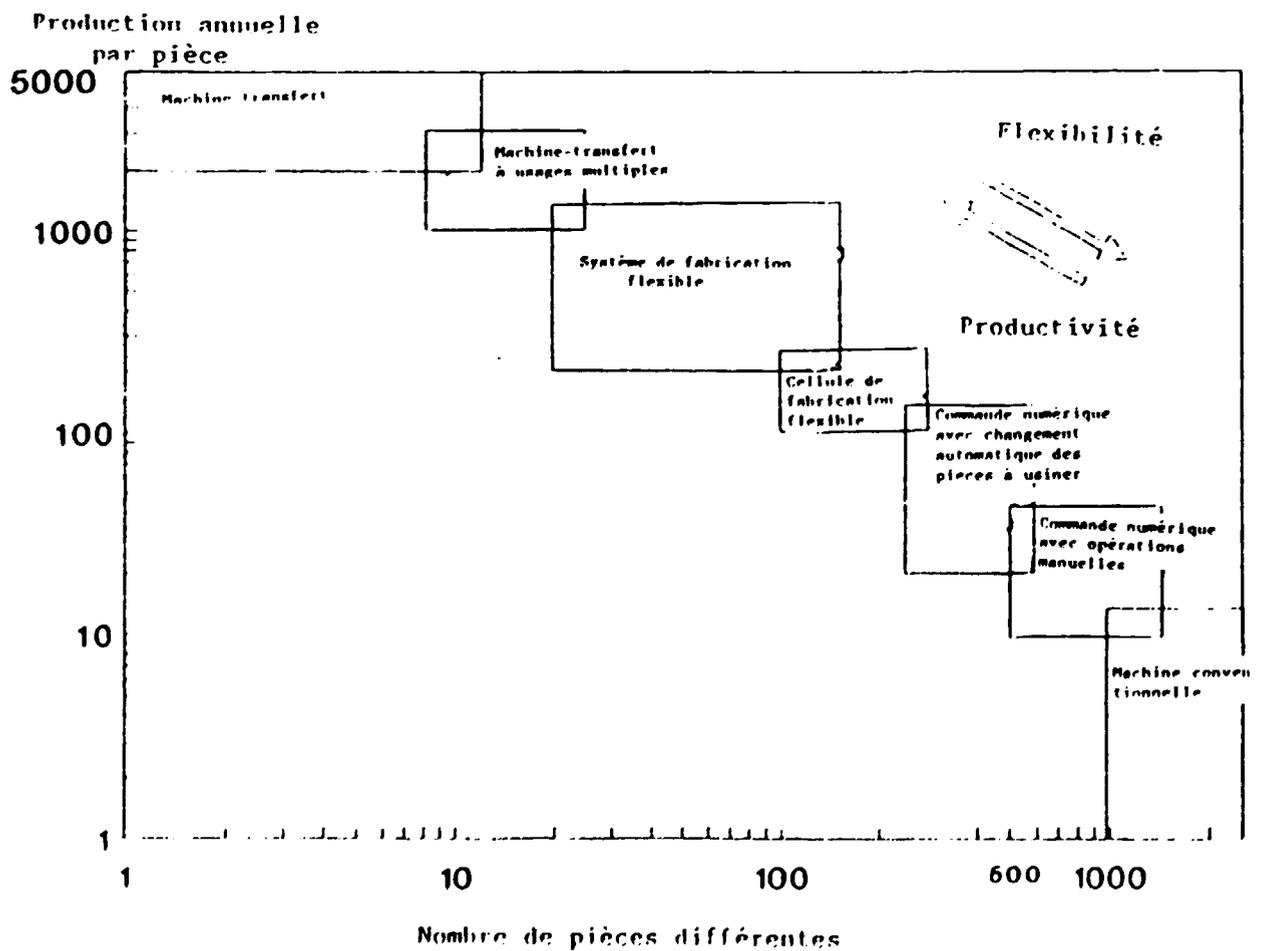


FIGURE 2. DU CONVENTIONNEL A L'AUTOMATIQUE



progrès technologiques sont moins révolutionnaires que progressifs. Les investissements en R-D représentent en moyenne de 4 à 5 % du chiffre d'affaires annuel. Toutefois, la qualification des personnels est beaucoup plus poussée qu'elle ne l'est dans d'autres secteurs eux aussi parvenus à l'âge adulte.

L'industrie de la machine-outil est connue pour être cyclique et soumise aux effets multiplicateurs des commandes et des annulations elles-mêmes liées aux fluctuations du marché de la clientèle. Cela dissuade de nombreuses personnes qualifiées de travailler pour le secteur à cause du risque périodique de licenciement.

Enfin, le secteur de la machine-outil est un secteur très ouvert. Le coefficient de commercialisation $\frac{4}{5}$ peut atteindre 300 % dans des pays comme le Canada ou la Suède, tandis que dans la plupart des pays industrialisés il est de l'ordre de 75 à 100 %; le Japon fait toutefois exception (50 %) à cause du faible niveau des importations.

3.2 Structure du marché

Le marché de la machine-outil est très compartimenté et différentes stratégies peuvent coexister dans le secteur. Les techniques mécaniques et les données conceptuelles diffèrent pour chaque type de produit, ce qui a conduit à la spécialisation dans des gammes étroites de produits destinés à des marchés particuliers (encadré 2).

3.3 Taille des entreprises

Les principaux producteurs de machines-outils ne se classent pas parmi les grandes entreprises industrielles. Le tableau 3 présente les entreprises qui viennent en tête des ventes mondiales de machines-outils et d'équipements connexes, comme les machines à commande numérique.

La machine-outil offrait un créneau idéal à des ingénieurs entreprenants qui ont créé de petites sociétés exigeant du savoir-faire plutôt que des investissements lourds. Beaucoup de petites entreprises ont pu se maintenir sur le marché en raison des économies d'échelle qu'elles réalisaient en produisant en grande série un seul modèle : tels fabricants étaient connus pour telles catégories d'instruments-outils et pouvaient difficilement passer à la fabrication d'autres catégories à cause du coût de l'opération $\frac{5}{6}$. La dispersion de la structure industrielle est particulièrement marquée en Italie.

En raison de la diffusion des machines-outils à commande numérique et du système de fabrication flexible dans le secteur de la machine-outil, le volume de production est en augmentation; il est beaucoup plus important dans les entreprises japonaises que dans la plupart des entreprises américaines et européennes.

Encadré 2. Segmentation du marché

Plusieurs marchés de la machine-outil coexistent; trois critères peuvent servir de guides :

- Degré de spécialisation de la machine : un tour conventionnel a des applications universelles, alors que certaines machines sont conçues pour une seule application;
- Volume de la production : un centre d'usinage se prête bien à la production de petites séries de produits différenciés; les machines-transfert servent à la production en grandes séries;

- Débouchés : les fabricants capables d'investir beaucoup auront certains avantages sur les grands marchés.

Le tableau ci-dessous présente les facteurs sur lesquels joue la concurrence dans les trois branches de la machine-outil, les principaux fournisseurs et l'évolution prévue de la demande mondiale.

	MACHINES CONVENTIONNELLES	MACHINES UNIVERSELLES A COMMANDE NUMERIQUE CENTRE D'USINAGE	MACHINES CONVENTIONNELLES SPECIALISEES A COMMANDE NUMERIQUE
PRINCIPAL FACTEUR DE CONCURRENCE	PRIX	PRIX/TECHNOLOGIE	TECHNOLOGIE
PRINCIPAUX FOURNISSEURS	- PAYS DE L'ASIE DE L'EST - EUROPE DE L'EST	JAPON	REP. FED. D'ALLEMAGNE
PART DU MARCHÉ MONDIAL	16 %	36 %	48 %
CROISSANCE A MOYEN TERME	ralentissement	augmentation	augmentation

Adapté de P. Frémeaux, R. Touboul : Machine-outil 90, les enjeux BIPE, Paris 1990.

3.4 Sous-traitance

Dans les pays industrialisés, les fabricants de machines-outils achètent certaines composantes et font appel à la sous-traitance : la valeur du matériel acheté et sous-traité représente de 40 % (Europe) à 60 % (Japon) de la valeur totale du produit. En outre, la sous-traitance a tendance à augmenter avec le nombre des pièces spécialisées qui sont utilisées : les vis à billes, les porte-outils et les supports de base sont sous-traités.

La sous-traitance et les achats de composantes sont plus répandus chez les fabricants japonais que chez les fabricants européens et américains. Il en résulte notamment que les innovations techniques dues aux grosses sociétés diffusent rapidement vers les petites et moyennes entreprises.

Dans les pays en développement, les ensembles de machines-outils intégrés sont la règle et la gamme de production est souvent très étendue. Les entreprises, lorsqu'elles se sont établies, n'ont pu se procurer localement certains intrants, par exemple des pièces forgées et coulées qu'elles ont donc décidé d'intégrer. Le coût peut être amorti si la capacité (ainsi que l'utilisation de la capacité) est assez élevée; par contre, si la capacité est insuffisante, il ne sera pas possible de réaliser des économies d'échelle sur les pièces coulées et le coût d'articles tels que le matériel d'essai ne pourra être répercuté sur la production, celle-ci étant trop faible.

3.5 Technologie intensive

Les fabricants de machines-outils ont des bureaux de conception principalement chargés de résoudre les problèmes qui se posent quotidiennement à leurs clients. Les relations avec les universités ont toujours été limitées 6/. Avec l'introduction des machines-outils à commande numérique et de la fabrication assistée par ordinateur des principales composantes des machines-outils, un grand nombre des opérations qui exigeaient traditionnellement des compétences et des qualifications ont été supprimées, jusqu'aux inspections et aux essais. Le pilote de machines-outils, par exemple, doit posséder de bonnes connaissances de mathématiques et de programmation, tandis que le changement des outils, le chargement et le déchargement du matériel sont effectués par des opérateurs semi-qualifiés.

II. PRODUCTION ET COMMERCE DE MACHINES-OUTILS A TRAVERS LE MONDE

1. PRODUCTION

Au cours des deux dernières décennies, la production mondiale de machines-outils 7/, mesurée en dollars actuels des Etats-Unis, est passée de 8 milliards de dollars en 1968 à 19 milliards de dollars en 1978 et à 42 milliards de dollars en 1989 (figure 3).

1.1 Principaux pays producteurs

Le tableau 4 présente la production de machines-outils dans les 35 principaux pays producteurs de 1977 à 1989. La production de machines-outils est fortement concentrée dans quelques pays industrialisés. Le Japon est devenu en 1982 le plus gros producteur, enlevant à la République fédérale d'Allemagne la première place qu'elle occupait jusque-là, tandis que l'Union des Républiques socialistes soviétiques restait en troisième position. Les Etats-Unis et l'Italie viennent ensuite.

Les permutations (figure 4) entre pays en tête de la production s'expliquent essentiellement par leur attitude vis-à-vis de la technologie de la commande numérique. Cette innovation, pourtant née aux Etats-Unis dans les années 50, a été boudée par les industries mécaniques américaines, et c'est le Japon qui a été le premier pays à l'appliquer. La Commission établie par l'Institut de Technologie du Massachusetts pour identifier les principales causes des contre-performances industrielles des Etats-Unis, a mis en évidence 8/ un faisceau de facteurs étroitement imbriqués dont deux sont spécifiques de l'industrie de la machine-outil : i) elle n'est pas orientée vers l'exportation : les petites entreprises qui ont une vision régionale du secteur hésitent à exporter et n'ont pas suivi les évolutions dans d'autres pays; ii) elle n'a pas investi dans les innovations en matière de commande numérique. Au cours des années 60, la diffusion des machines-outils à commande numérique a progressé trop lentement et les Etats-Unis ont peu à peu perdu leur position dominante.

Les industries japonaises au contraire avaient, du fait de certaines particularités de leur organisation, la souplesse nécessaire pour tirer pleinement parti des nouvelles techniques de production.

- i) Organisation du travail. Depuis la fin des années 50, la fragmentation de l'industrie automobile a amené les producteurs japonais à consentir des efforts dans le sens de l'assouplissement. La réorganisation des ateliers a créé un environnement extrêmement favorable à la conception et à la diffusion de machines-outils à commande numérique;

ii) Politique industrielle. La première loi visant à promouvoir des industries mécaniques spécifiées a été élaborée par le ministère du commerce international et de l'industrie en 1956; depuis lors, les objectifs sont de réduire les coûts, d'améliorer la qualité et d'augmenter la productivité en centralisant la fabrication. Les fabricants de machines-outils ont été incités à mettre au point des produits standard modulaires pouvant convenir à une large gamme d'utilisateurs, à se concentrer sur les besoins des petits utilisateurs et à faire un gros effort de commercialisation. Ces plans ont été appuyés par une panoplie de mesures de protection du marché associées à différentes incitations financières 2/.

Tableau 3
Principaux fabricants de machines-outils dans le monde
(en millions de dollars)

		Ventes machines-outils		Ventes totales	Emplois
		1989	1988	1988	
YAMAZAKI MAZAK CORP	Japon	1 183	796	796	3 000
FANUC LTD	Japon	1 079	928	1 055	1 770
LITTON IND INC	Etats-Unis	730	600	4 863	55 000
AMADA CO	Japon	1 153	891	1 019	1 509
CROSS AND TRECKER	Etats-Unis	456	428		4 100*
COMAU SPA	Italie		380		3 500
OKUMA MACHINERY WORKS	Japon	665	551	592	1 753
CINCINATI MILACRON	Etats-Unis	424	361	860	8 400*
MORI SEIKO CP	Japon	635	488		1 570
TOYODA MACHINE WORK	Japon	466	418	1 045	4 367
DECKEL GROUP	Rép. féd. d'Allemagne		350		
INGERSOLL MINING	Etats-Unis	366	345	400	4 500
GILDMEISTER	Rép. féd. d'Allemagne		313		
KOMATSU MTD	Japon	474	398	5 580	15 801
MAKINO MILLING MACHINERY	Japon	318	270		951
AIDA ENGINEERING	Japon		247		684
AMADA SONOIKE MFG	Japon	390	307		537
TRUMPF GMBH	Rép. féd. d'Allemagne	340	302		2 122
HITACHI SEIKI	Japon	346	275		1 237
FUJI MACHINE CO	Japon	392	241		717

* Y compris ventes étranger.

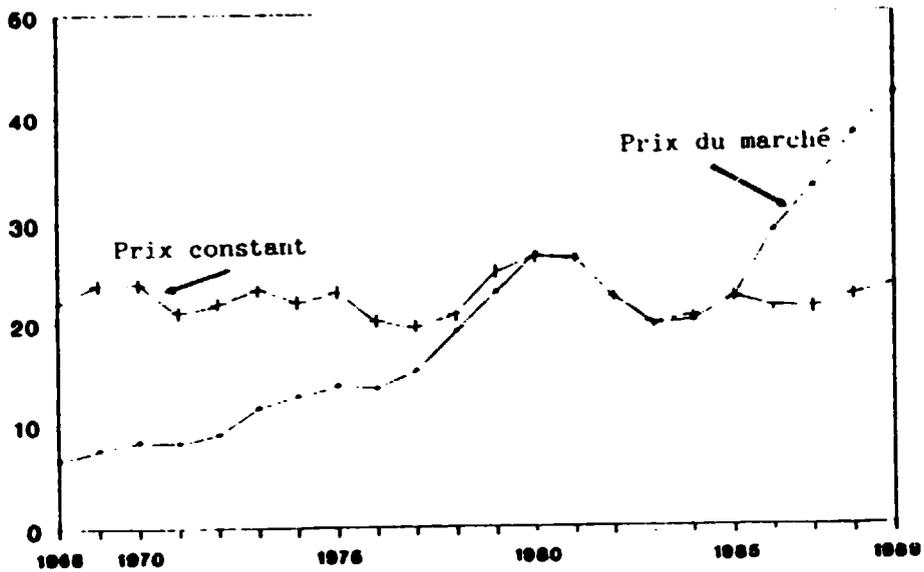
Source : American Machinist, août 1990, août 1989.

Tableau 4
Production de machines-outils (1977-1989)
(en millions de dollars EU)

	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	En pourcentage 1989
Japon	1 602	2 350	2 982	3 826	4 798	3 796	3 541	4 473	5 316	6 872	6 419	8 722	9 817	23,3
RFA	2 635	3 396	4 007	4 707	3 953	3 505	3 193	2 803	3 168	5 185	6 403	6 572	6 859	16,3
Union soviétique	2 202	2 652	2 902	3 065	2 932	2 952	3 077	2 776	3 035	3 672	3 976	4 263	5 000	11,9
Etats-Unis	2 441	3 004	4 059	4 812	5 111	3 748	2 106	2 423	2 717	2 748	2 235	2 519	3 270	7,8
Italie	878	1 060	1 354	1 728	1 513	1 138	1 037	996	1 115	1 623	2 585	2 639	3 067	7,3
Suisse	580	768	930	994	846	816	766	759	955	1 424	1 652	1 865	1 797	4,3
Royaume-Uni	588	821	1 001	1 395	933	781	573	675	783	916	1 058	1 501	1 597	3,8
RDA	641	699	806	891	828	821	829	789	730	1 001	1 312	1 457	1 445	3,4
France	591	723	877	954	809	621	561	465	499	657	766	876	1 081	2,6
Chine (Taiwan)	58	126	198	245	294	186	205	244	278	367	578	782	1 016	2,4
RPC	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
Rép. de Corée	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	708	1,7
Yougoslavie	141	173	189	232	277	284	231	226	239	390	515	550	602	1,4
Brésil	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	154	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	30	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	15 124	19 063	23 001	26 741	26 460	22 367	19 526	19 976	22 199	28 917	33 079	38 073	42 064	

Source : D'après American Machinist (différents numéros).

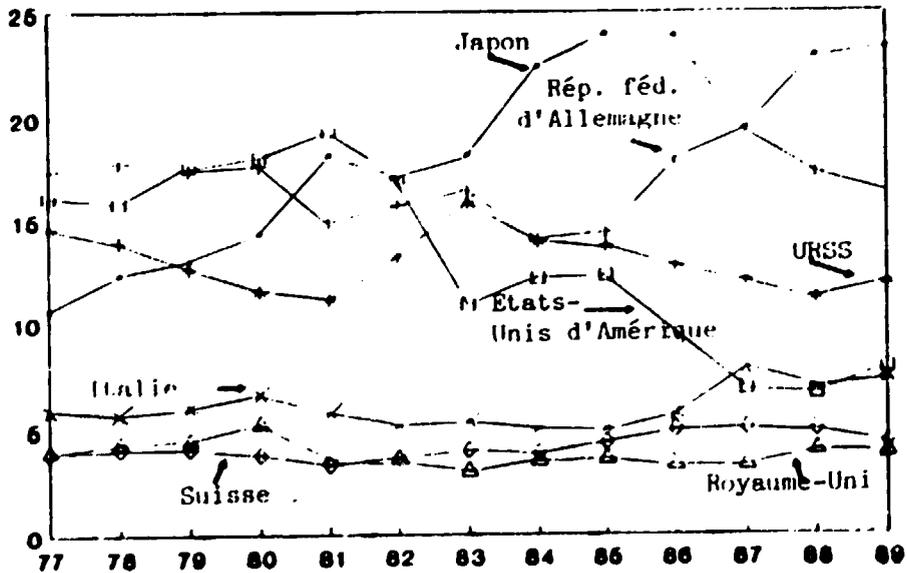
Figure 3. PRODUCTION MONDIALE DE MACHINES-OUTILS
(milliards de dollars EU)



Source : American Machinist et estimations.

Figure 4. PART DES PRINCIPAUX PAYS PRODUCTEURS DANS
LA PRODUCTION MONDIALE (1977-1989)

En pourcentage



Source : American Machinist.

L'Europe reste la principale source de technologie de la machine-outil et même pour ce qui est des techniques concernant la commande numérique et les robots, le nombre de brevets européens a été légèrement supérieur à celui des brevets japonais (tableau 5).

En Europe, l'Allemagne de l'Ouest est en tête. Les constructeurs allemands occupent les créneaux de l'équipement haut de gamme et chaque entreprise produit un éventail limité de machines-outils sophistiquées. La croissance de l'industrie italienne de la machine-outil a également été dynamique. Comme dans le cas du Japon, l'augmentation de la demande d'équipement flexible en provenance des petites et moyennes entreprises a tiré la production de matériel à commande numérique vers le haut, au point que l'Italie est le deuxième producteur européen.

Tableau 5
Nombre de demandes de brevets, 1982-1988

Techniques, machines et matériaux	CEE	AELE	Japon	Etats-Unis d'Amérique
Mécanique	9 253	2 169	4 371	5 082
Commandes	3 852	552	3 093	2 746
Robotique	656	152	582	393
Fabrication au laser	339	57	193	241
Sources de laser	672	28	844	684
Machines à décharges électriques	112	92	241	50
Céramique	1 511	159	1 631	1 237
Revêtements	1 453	179	1 504	1 537
Métallurgie des poudres	443	106	459	495

Source : Etude stratégique sur l'industrie de la machine-outil dans les CE, Bruxelles 1990.

1.2 Pays en développement

La part des pays en développement dans la production mondiale de machines-outils était de 9 % en 1988, alors que leur part dans la production électronique mondiale était de 14 %. Une vingtaine de pays en développement se sont engagés dans l'industrie de la machine-outil 10/, la production étant fortement concentrée dans 10 d'entre eux 11/.

1.2.1 Industries mécaniques et demande de machines-outils

L'existence d'une industrie mécanique de base est le préalable nécessaire à la mise en route de l'industrie de la machine-outil, et ce pour deux raisons. Du côté de la demande, les industries mécaniques constituent, de loin, le principal débouché de la machine-outil, tandis que du côté de l'offre, l'existence d'industries d'appui (coulage, forgeage, aciers de haute qualité, moteurs électriques, écrous et boulons à résistance élevée, outils, gabarits et montures, commande électronique) est indispensable à la mise en place d'une industrie de la machine-outil. La relation indéniable 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) 12/ est évidente. Elle est illustrée par la figure 5 couvrant 20 pays en développement pour lesquels la valeur mécanique ajoutée de 200 millions à 22 milliards de dollars.

La viabilité de l'industrie de la machine-outil dans un pays en développement dépend, non seulement du volume de la production des industries mécaniques, mais aussi des produits fabriqués :

Dans les pays en développement à faible revenu, les industries mécaniques sont embryonnaires et fabriquent principalement des ouvrages en métaux (conteneurs, appareils domestiques, mobilier réuni dans la classe 381 de la CITI). La production de ces articles demande très peu d'usinage et peut d'ordinaire se faire au moyen d'outils à former les métaux. Les machines-outils procédant par enlèvement des métaux sont principalement utilisées aux fins de maintenance et d'enseignement.

Dans les pays où les industries mécaniques sont plus développées, la fabrication d'ouvrages en métaux (CITI 381) représente de 30 à 50 % de la valeur ajoutée qu'elles produisent. Les entreprises travaillant à la construction et à la maintenance des machines, à l'exclusion des machines électriques (CITI 382) et de matériel de transport (CITI 384) sont les principaux utilisateurs de machines-outils. Les besoins croissants de ces deux secteurs offrent aux machines-outils un débouché qui peut justifier la création d'une industrie nationale.

Dans les pays qui ont entrepris sérieusement la production de machines-outils, la valeur ajoutée des industries mécaniques est en règle générale supérieure à une base de référence de un milliard de dollars des Etats-Unis (en 1987); la production peut atteindre un certain niveau dans des pays où la valeur ajoutée des industries mécaniques est comprise entre 100 millions et un milliard de dollars.

1.2.2 Les principaux pays producteurs

1.2.2.1 Argentine

La production à grande échelle a commencé dans les années 60, et le début des années 70 a été considéré comme l'"âge d'or" de l'industrie de la machine-outil. Le secteur a été durement touché par la crise économique et la suppression brutale des mesures de protectionnisme. L'investissement et la production intérieure ont chuté et de nombreuses sociétés de machines-outils ont fait faillite : en 1985 la production ne représentait plus qu'un dixième du volume de 1973. Après trois années de crise profonde, la production est remontée à 10 000 unités et à 35 millions de dollars EU en 1987, puis à 38 millions de dollars EU en 1988, la consommation se chiffrant à 50 millions de dollars EU (figure 6).

1.2.2.2 Brésil

L'industrie brésilienne de la machine-outil (figure 7) est la première d'Amérique latine. En 1970 le Brésil produisait de quoi faire face à la moitié de ses besoins et exportait dans le cadre de l'Accord de libre-échange latino-américain.

La crise économique qui a provoqué une rétraction brutale du marché intérieur et ultérieurement du principal marché d'exportation (le Mexique) a entraîné une diminution spectaculaire de la production, et la branche a connu cinq années de profonde récession (1981-1986). En raison de la grave pénurie de devises étrangères et de la centralisation des paiements des importations, il est arrivé que les constructeurs de machines-outils ne puissent acheter des pièces et des matériaux aux fournisseurs étrangers.

Figure 6 : ARGENTINE
Production, consommation et commerce

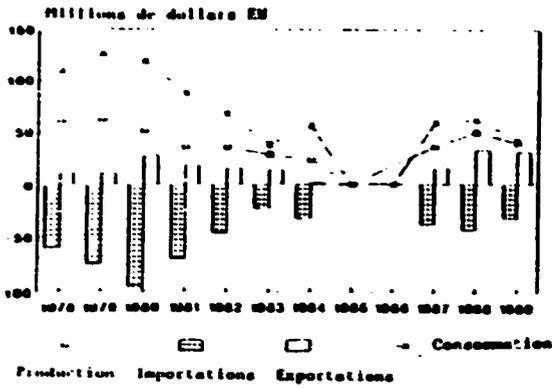


Figure 7 : BRÉSIL
Production, consommation et commerce

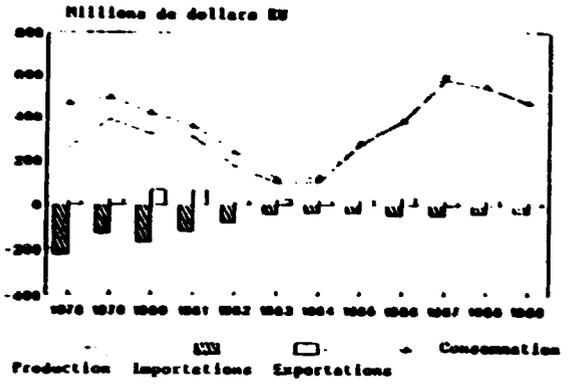
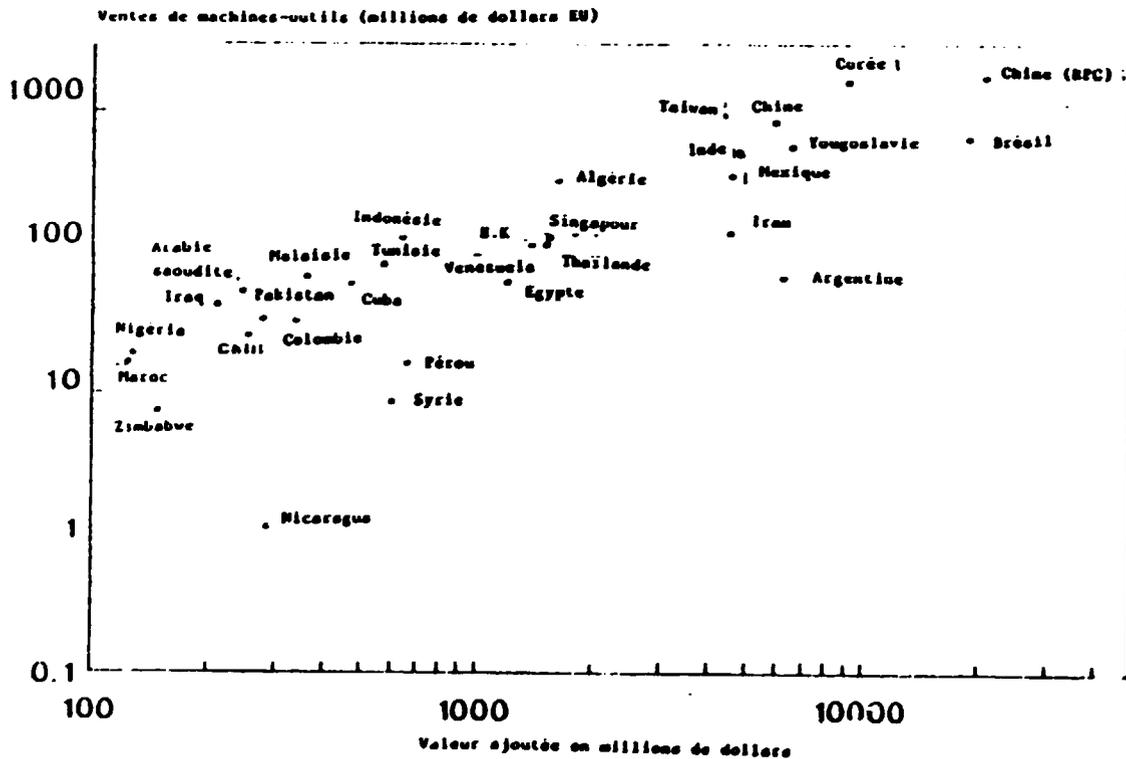


Figure 5: MARCHÉ DES MACHINES-OUTILS ET DEVELOPPEMENT
DES INDUSTRIES MECANIQUES (1988)



Valeur ajoutée des industries mécaniques
(moins machines, appareils et fournitures électriques CITI 38)
Source : base de données de l'ONUDI

1.2.2.3 Chine

En République populaire de Chine (figure 8), la production de machines-outils couvrait la quasi-totalité des besoins. Mais, avec le programme de modernisation lancé en 1978, les importations ont progressé de manière spectaculaire et ont fini par représenter près de 50 % de la consommation en 1988 au lieu de 14 % en 1978. En même temps, les exportations passaient de 5 % de la production en 1978 à 15 % en 1988.

1.2.2.4 Inde

L'industrie indienne de la machine-outil (figure 9) a pu fabriquer la plupart des machines d'usage général réclamées par les utilisateurs à la fin des années 70. Mais elle a tardé à introduire la commande numérique. Lorsque le gouvernement a pris des mesures de libéralisation au début des années 80, des machines spécialisées et des machines-outils à commande numérique ont été importées sur une grande échelle, ce qui explique la part croissante des importations dans la consommation intérieure (40 % en 1988).

1.2.2.5 République de Corée (figure 10)

Appuyée par le plan de développement à long terme du gouvernement, l'industrie de la machine-outil a connu une expansion rapide à partir du milieu des années 70. De 1986 à 1989, l'industrie coréenne a connu un essor spectaculaire et l'accroissement des investissements des industries mécaniques a brusquement gonflé la consommation de machines-outils, en même temps que les augmentations de salaires entraînaient une demande accrue d'automation dans les usines. Dans ces conditions, la production intérieure n'a pu faire face à l'augmentation de la demande et les importations ont représenté 50 % de la consommation apparente en 1988 (30 % à la fin des années 70).

1.2.2.6 Province chinoise de Taïwan

La province chinoise de Taïwan (figure 11) est le huitième exportateur mondial. Après cinq années de stagnation, l'appréciation du yen a donné une nouvelle impulsion aux exportations de Taïwan qui ont doublé entre 1986 et 1988, tandis que l'augmentation des investissements intérieurs entraînait une hausse de la consommation nationale de machines-outils. La province de Taïwan est le seul pays en développement dont la balance commerciale de la machine-outil soit excédentaire.

1.2.3 Avantage comparé des pays en développement 13/

L'avantage comparé des industries de la machine-outil des pays en développement peut être évalué au moyen de trois critères :

- i) La balance commerciale de l'industrie nationale : pays exportateurs nets et pays importateurs nets;
- ii) Le pourcentage de la production exportée (X/P) qui démontre la compétitivité internationale même si l'industrie est un importateur net;
- iii) La part de l'industrie nationale sur le marché intérieur ($P/P+M-X$) qui indique le degré d'autosuffisance; associée à la première mesure elle montre si, de l'autosuffisance, on est passé à la compétitivité internationale.

Figure 8 : CHINE
Production, consommation et commerce

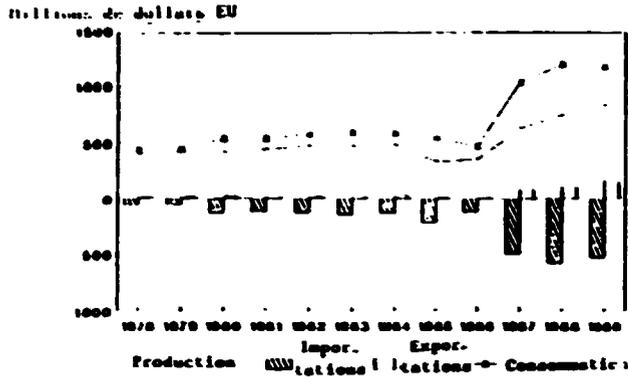


Figure 9 : INDE
Production, consommation et commerce

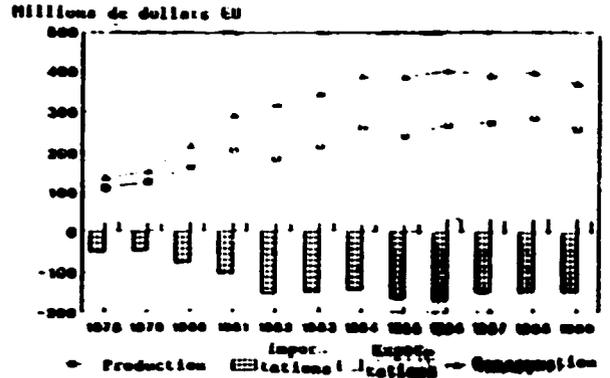


Figure 10 : CHINE (TAIWAN)
Production, importations et exportations

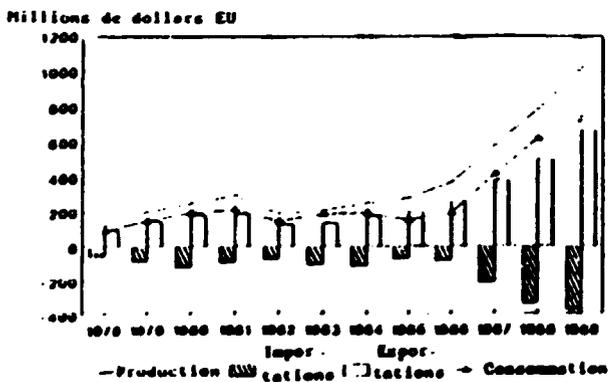
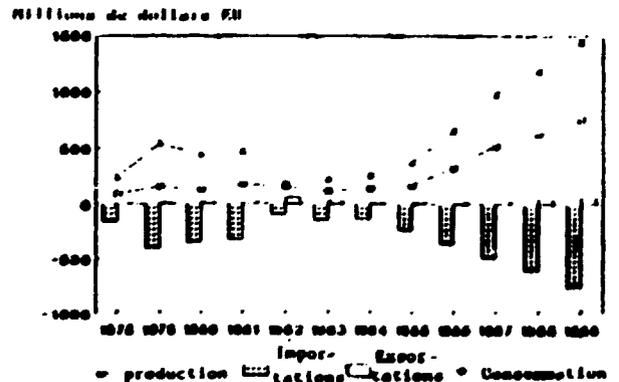


Figure 11 : REPUBLIQUE DE COREE
Production, importations et exportations



La figure 12 montre comment se situaient les principaux pays en développement par rapport à ces trois critères en 1980 et en 1989. Les pays ont été répartis entre cinq catégories.

- 1) La Yougoslavie est un exportateur net et sa production est bien diffusée sur le marché intérieur; en 1989, c'était le seul pays compétitif dans tous les secteurs.
- 2) La province chinoise de Taiwan est aussi un exportateur net, mais la diffusion sur le marché intérieur est moins bonne (encore qu'en augmentation de 1980 à 1989) : la demande intérieure croissante a encouragé les importations, mais l'industrie est axée sur les exportations de produits volumineux et peu commercialisables localement et exploite des créneaux porteurs (petites et moyennes rectifieuses conventionnelles, centres d'usinage, tours et perceuses).
- 3) Le Brésil, l'Inde et la République populaire de Chine sont des importateurs nets et les produits nationaux diffusent bien, à travers les circuits commerciaux intérieurs : ils semblent très protégés par des tarifs douaniers élevés ou des barrières artificielles.

L'Argentine, la Corée et le Mexique sont des importateurs nets et la diffusion des produits locaux sur le marché intérieur est médiocre. La classification peut être affinée en fonction du coefficient d'exportation :

- 4) Le coefficient d'exportation de l'Argentine a augmenté dans des proportions importantes; le pays pourrait donc être compétitif internationalement dans des créneaux spécialisés.
- 5) Le Mexique et la République de Corée sont caractérisés par un coefficient d'exportation médiocre (et en diminution pour la Corée), ce qui fait penser à une faiblesse industrielle de ces deux pays. Toutefois, l'industrie coréenne a pu faire face à 50 % de la demande locale, qui a augmenté très rapidement, et le pays paraît s'aligner sur ceux qui protègent leur industrie par de puissants avantages locaux.

2. COMMERCE INTERNATIONAL DE LA MACHINE-OUTIL

En 1968, un tiers de la production mondiale de machines-outils était commercialisé et en 1988 le pourcentage atteignait 48 %. Les exportations ont mondialisé l'industrie de la machine-outil et les résultats dépendent désormais de l'efficacité de la politique d'exportation.

2.1 Principaux pays importateurs et exportateurs

Les 10 premiers pays importateurs et exportateurs (tableau 6) ont été classés en fonction de leurs performances moyennes en matière d'exportation et d'importation au cours des trois dernières années (1987-1988-1989) :

- La République fédérale d'Allemagne est le premier exportateur, suivie depuis 1978 par le Japon. Les Etats-Unis ont perdu des parts de marché, mais le recul a été plus important dans le cas des producteurs européens;
- Le plus gros marché d'importation est constitué par les Etats-Unis; viennent ensuite l'URSS et la République fédérale d'Allemagne. Contrairement à d'autres pays producteurs, le Japon a maintenu ses importations à un niveau peu élevé. La République de Corée et la République populaire de Chine viennent respectivement au huitième et au neuvième rang des pays importateurs.

Figure 12. EVOLUTION ENTRE 1980 ET 1989 DES POSITIONS DES PAYS EN DEVELOPPEMENT EN CE QUI CONCERNE LES AVANTAGES COMPARATIFS

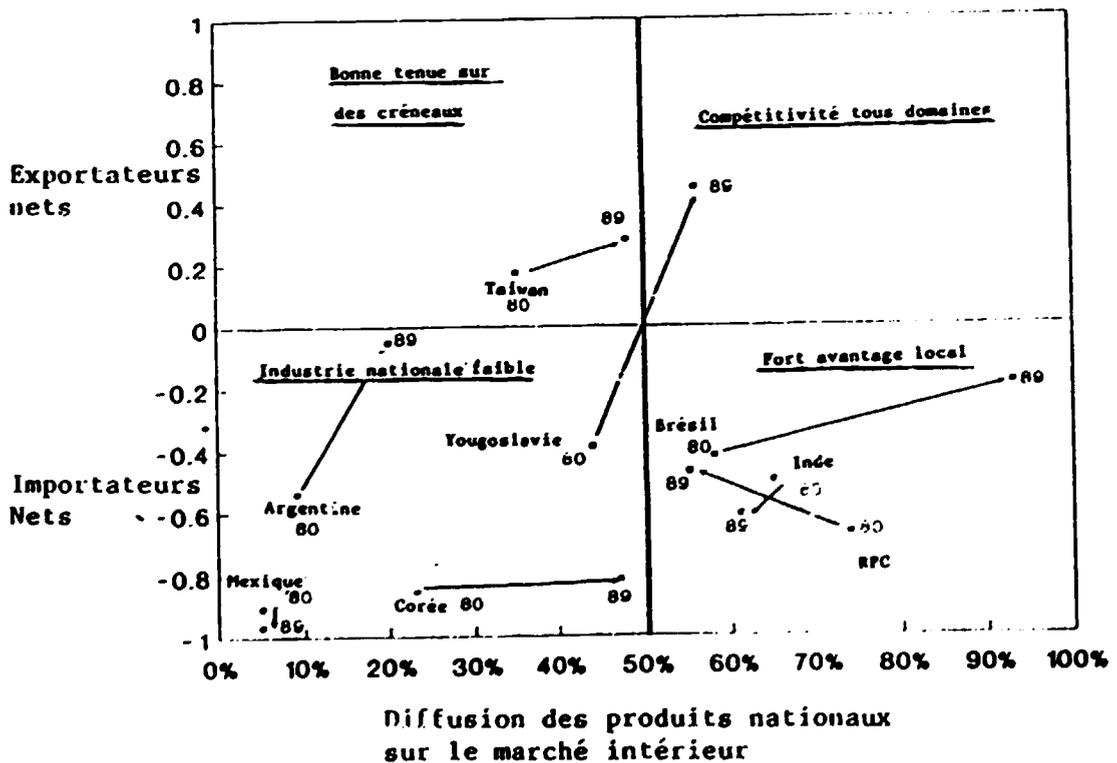
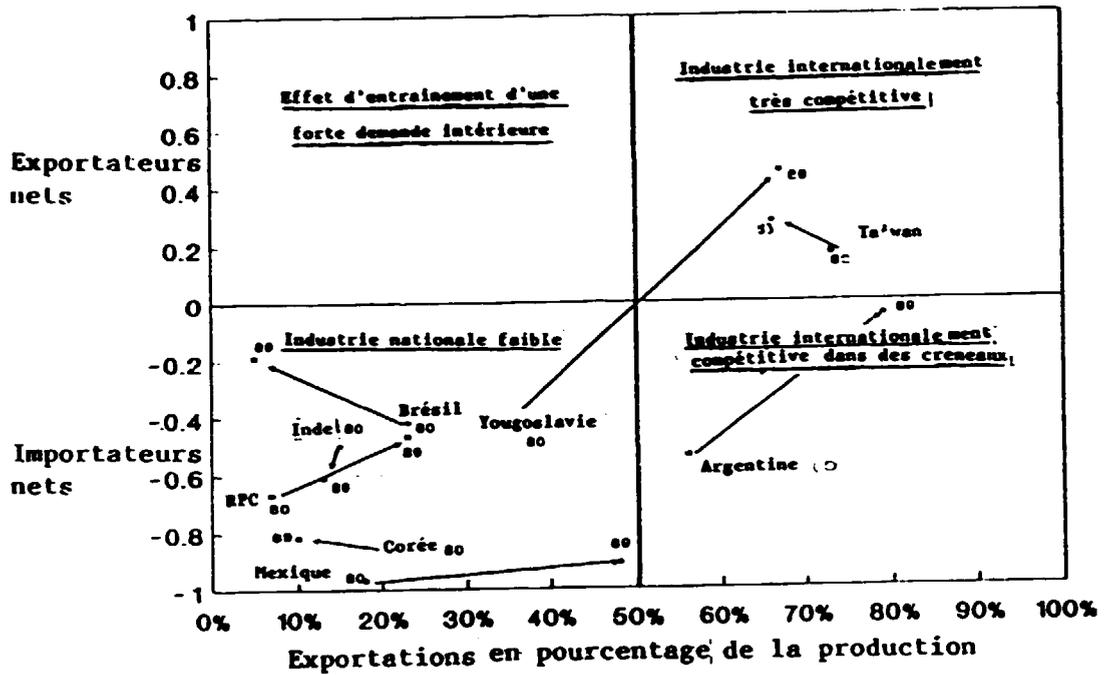


Tableau 6

Les 10 principaux pays exportateurs		Les 10 principaux pays importateurs	
en millions de dollars EU, moyenne (1987-1989)			
RFA	4 019	Etats-Unis	2 157
Japon	3 359	Union soviétique	1 924
Suisse	1 553	RFA	1 306
Italie	1 298	France	935
RDA	1 256	Italie	706
Etats-Unis	766	Royaume-Uni	700
Royaume-Uni	605	Canada	646
Taiwan (Chine)	517	République de Corée	618
France	383	République populaire de Chine	531
Yugoslavie	370	Belgique	395

2.2 Importations de pays en développement

Les pays industrialisés représentent de loin le plus important marché des importations de machines-outils : en 1980 et en 1987, 80 % de leurs exportations étaient dirigées vers d'autres pays industrialisés (y compris les pays de l'Est) et 20 % vers des pays en développement 14/ (figure 13).

Les exportations en direction des pays en développement jouent un rôle très important dans le cas de l'Amérique du Nord (34 % en 1980, 39 % en 1987); dans le cas du Japon, elles sont passées de 29 % à 34,5 %. La proportion d'exportations de machines-outils d'Europe occidentale vers les pays en développement a régressé de 18 % à 16 % et la même évolution s'est produite dans le cas de l'Europe de l'Est (de 7,4 % à 7,0 %). Les statistiques d'importation de machines-outils de 73 pays en développement entre 1980 et 1987 15/ montrent que la valeur moyenne des importations de machines-outils sur la période 1980-1987 a été :

- Inférieure à 1 million de dollars EU pour 11 pays en développement;
- Comprise entre 1 million et 10 millions de dollars EU pour 32 pays en développement;
- Comprise entre 10 millions et 100 millions de dollars EU pour 24 pays en développement;
- Supérieure à 100 millions de dollars EU pour 7 pays en développement seulement 16/.

Pour la plupart des pays en développement, les importations de machines-outils représentent moins de 1 % des importations totales dans le secteur mécanique; on peut donc difficilement considérer qu'elles grèvent les économies nationales.

Si globalement, la part des pays en développement dans les exportations des pays industrialisés est restée constante pendant la période 1980-1987, les parts respectives des régions ont changé (figure 14). Celle de l'Afrique a régressé de 2,4 % à 1,5 % et celle des pays d'Amérique latine a accusé un recul plus important encore tombant de 8 % à 3,7 %. Au contraire, la part des pays asiatiques en développement est passée de 7,6 % à 12,3 %, et représentait

Figure 13. DIRECTION DES FLUX COMMERCIAUX, 1987

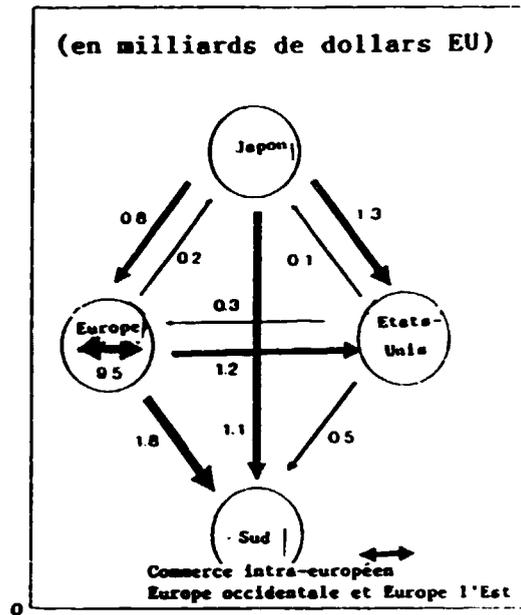
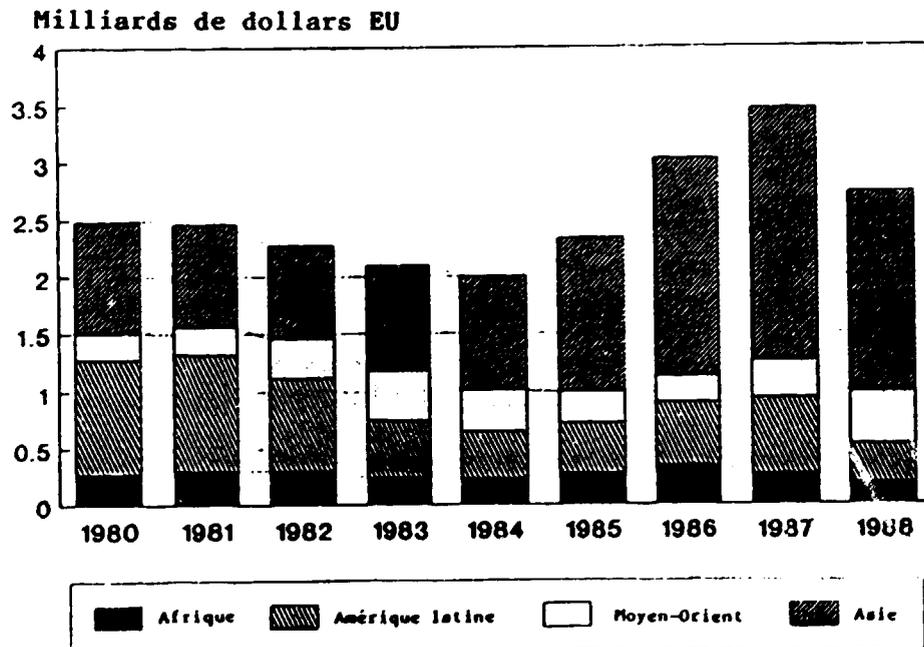


Figure 14. IMPORTATIONS DE MACHINES-OUTILS (ET DE PIECES) PAR LES PAYS EN DEVELOPPEMENT



Source : Statistiques de la CEE

en 1987, 60 % des importations des pays en développement. L'Europe occidentale est restée le premier fournisseur de machines-outils des pays en développement 17/, suivie par le Japon en 1987. Si les importations des pays asiatiques en développement sont relativement diversifiées, c'est rarement le cas pour les pays d'Afrique et du Moyen-Orient qui importent principalement d'Europe, et pour les pays d'Amérique latine qui importent des Etats-Unis et d'Europe.

3. PREVISIONS CONCERNANT LE MARCHÉ MONDIAL DE LA MACHINE-OUTIL

D'après une prévision récente 18/, l'industrie mondiale de la machine-outil connaît une période durable d'expansion et le taux de croissance annuel devrait se maintenir à 4 % en termes réels de 1988 à 1995. A la fin de cette période, les taux de croissance devraient diminuer mais il ne devrait pas y avoir de récession.

La croissance maximale (tableau 8) de la demande pourrait se produire au Japon et dans les pays en développement (7), les perspectives étant moins favorables aux Etats-Unis d'Amérique et dans les pays du CAEM. Les importations augmenteront fortement au Japon, dans les pays de la CEE et dans les pays en développement (5,2 %).

Dans l'ensemble, des perspectives brillantes sont ouvertes aux fabricants de machines-outils. L'expansion intéressera principalement les nouveaux pays industrialisés, le Japon et la CEE.

III. CHANGEMENTS TECHNOLOGIQUES

1. DE LA PRODUCTION EN SERIE A L'AUTOMATION FLEXIBLE

De toutes les technologies nouvelles, c'est la micro-électronique qui est la plus importante pour l'industrie de la machine-outil, bien que l'impact des nouveaux matériaux commence seulement à se faire sentir.

L'introduction au milieu des années 70 du micro-ordinateur, circuit intégré programmable complet, a représenté pour le secteur des biens d'équipement la percée technologique majeure. Elle a fait suite à une longue période de stabilité relative des techniques de production 19/. Les possibilités ouvertes par les techniques d'automatisation basée sur l'électronique ont marqué un tournant dans l'histoire de la mécanisation 20/. En comparaison avec l'automatisation classique (électromécanique), les machines-outils à commande numérique, les systèmes de fabrication flexible et les robots permettent davantage de souplesse sur plusieurs plans : i) la production (définie par le nombre d'articles homogènes produits à un coût rentable par unité de temps) est modulable; ii) les produits fabriqués peuvent comporter des variantes; et iii) la production de très petites séries est possible 21/. Avec l'apparition de l'automatisation flexible, la dimension de l'usine tend à devenir plus indépendante de l'importance du marché.

La tendance à une plus grande flexibilité doit aussi être considérée dans le contexte des changements qui affectent la demande dans les pays industrialisés. L'ère de la fabrication en série de produits indifférenciés est terminée; le problème pour les producteurs sera de combiner la fabrication en série et la spécificité. Cette pression de la demande, qui s'est d'abord exercée sur le marché des produits électroniques grand public, s'est étendue à l'industrie automobile 22/. Elle appelle de nouvelles techniques de production (comme les méthodes de fabrication modulaire) empruntées aux

Tableau 7
Prévisions mondiales concernant la machine-outil 1988-1995

Demande intérieure mondiale	Milliards d'écus*	Taux de croissance annuelle en pourcentage	
	1988	1980-88	1988-95
CEE	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'écus	Taux de croissance annuelle en pourcentage	
	1988	1980-88	1988-95
CEE	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'écus	Taux de croissance annuelle en pourcentage	
	1988	1980-88	1988-95
CEE	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
TOTAL MONDIAL	8,65	3,50	4,90

Production mondiale	Milliards d'écus	Taux de croissance annuelle en pourcentage	
	1988	1980-88	1988-95
CEE	9,39	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
TOTAL MONDIAL	26,98	2,50	4

* Prix de 1985.

Source : Etude stratégique du secteur de la machine-outil dans les CE.
Bruxelles, juin 1990.

industries de l'électronique et de l'aéronautique 23/. Les entreprises qui fabriquent des produits individualisés visant des créneaux commerciaux doivent avoir la flexibilité nécessaire pour augmenter rapidement leur production dans les secteurs où la demande est la plus forte : il leur faut un équipement capable de produire économiquement en petites séries afin de réduire les travaux en cours, de minimiser les stocks et de répondre à la demande du consommateur en termes de jours et non plus de mois.

Les conséquences de ces changements vont au-delà du rééquipement des installations de fabrication : comme le montre l'exemple japonais, la souplesse peut être obtenue par des innovations au niveau de l'organisation. Afin de pouvoir relever ces nouveaux défis, les entreprises réorganisent leur processus de fabrication selon les principes de la production "juste à temps" en appliquant des techniques telles que la "réduction du temps de réglage" ou les procédures "Kan-ban" 24/. (Encadré 3). Avec les procédures Kan-Ban, l'objectif est de fabriquer des produits qui ont déjà été vendus, ce qui montre bien la primauté des impératifs commerciaux sur la production. Le principe essentiel de la fabrication "juste à temps" est que les produits doivent être achetés ou produits exactement dans les quantités nécessaires et qu'ils doivent être livrés au moment où ils sont nécessaires 25/.

Il est également important de souligner que la diffusion du matériel d'automatisme flexible se produit dans un contexte d'intégration croissante au sein de l'entreprise qui réunit des activités auparavant distinctes 26/.

Cette évolution a commencé à l'intérieur de chacune des "différentes sphères" de production par l'automatisme intra-activité au moyen de machines isolées : ce fut la diffusion de la machine à commande numérique dans la sphère production. On a assisté au même processus d'intégration dans la sphère conception où les différentes étapes, que comportent les préparations de dessins et la conversion des concepts et des modifications en une série complète de dessins industriels, sont maintenant effectuées par un système de conception assistée par ordinateur.

La deuxième étape de l'automatisme a pour but d'intégrer les différentes opérations dans l'automatisme. Dans la sphère production, le système de fabrication flexible relie plusieurs outils et systèmes de manipulation à commande numérique sous la supervision d'un ordinateur central.

Comme la micro-électronique est applicable dans toutes les activités informatisées, la technologie peut être introduite à tous les niveaux, depuis la gestion de la production, l'administration, la conception et les spécifications, le traitement du matériau brut, jusqu'à l'emballage, les essais et l'inspection des produits finis et des procédés de fabrication 27/. On observe maintenant une tendance à l'intégration entre sphères sur le modèle de l'intégration à l'intérieur de chacune des sphères d'activité, les systèmes CAO/FAO reliant conception et production et les systèmes flexibles de fabrication reliant coordination et production.

Encadré 3 : Principes du juste à temps, du Kan-Ban
et du Kan-Ban plus effet alpha

La fabrication poursuit deux objectifs antagonistes : il faut compenser le temps de réglage des machines en fabriquant en plus grandes séries et compenser les coûts de stockage en rapprochant les périodes de fabrication. La quantité résultant du compromis est appelée quantité économique d'achat. Les fabricants japonais se sont efforcés de réduire le temps de réglage tout en abaissant les coûts d'acquisition et en réduisant la quantité économique d'achat.

L'idée à la base de la gestion juste à temps (JAT) est simple : il s'agit de produire et de livrer les articles juste à temps pour la vente, les sous-ensembles juste à temps pour le montage en produits finis, les pièces fabriquées juste à temps pour la constitution de sous-ensembles et les matériaux achetés juste à temps pour leur transformation en pièces fabriquées. Mais l'application du principe du juste à temps ne se réduit pas à la maîtrise des stocks : les stocks composés de grosses pièces faussent le tableau; quand on décompose les pièces dans leurs unités, on voit d'où viennent les erreurs.

Kan-Ban est le nom d'un système de reconstitution des stocks spécifiquement japonais mis au point par Toyota. Littéralement Kan-Ban signifie "plaque visible". La plupart des entreprises utilisent des bons de commande qui accompagnent les pièces en cours; il s'agit d'un système de commande et de contrôle à priori des pièces. Le système Kan-Ban de Toyota au contraire déclenche la fourniture des pièces lorsqu'elles sont nécessaires, et évite les stocks excessifs. Il ne peut fonctionner de manière satisfaisante que dans le cadre d'une gestion "juste à temps".

Ce système a été conçu à une époque où toute la fabrication de Toyota était cantonnée dans un rayon de 50 kilomètres. Ces dernières années, la société a ouvert des usines aux Etats-Unis; mais elle a maintenu et adapté la gestion juste à temps : en cas d'erreur de commande, les pièces doivent être envoyées par avion du Japon; les fournisseurs américains livrent les pièces dans des ateliers de montage qui approvisionnent quotidiennement Toyota. Il a donc fallu mettre en route Kan-Ban plus effet alpha et installer des lignes de communication à grande capacité pour permettre au bureau central de suivre la production globale. L'objectif est d'appliquer la gestion juste à temps en temps réel : les stocks de demain seront alors basés sur les ventes de demain.

Extrait de Schonberger : Japanese manufacturing techniques, nine hidden lessons on simplicity Londres Free Press 1982 and "Toyota Motor: Delivering tomorrow orders made today", Financial Times 10 septembre 1990.

2. AUTOMATION DE L'EQUIPEMENT DETACHE

L'équipement détaché est le premier à avoir été automatisé. La récession du début des années 80 a retardé la diffusion de l'automatisation qui a progressé plus lentement et plus irrégulièrement que prévu. Depuis 1982, les dépenses d'équipement ont augmenté deux fois plus vite que le PIB des pays de l'OCDE, ce qui a relancé les ventes de machines-outils, et plus particulièrement de machines-outils à commande numérique. La diffusion de la commande numérique a été favorisée par la diminution de son prix comparé à celui de la machine-outil conventionnelle.

Les chiffres de production cumulés des Etats-Unis d'Amérique, du Royaume-Uni, de la République fédérale d'Allemagne, de l'Italie et du Japon montrent que la part des machines-outils à commande numérique dans les ventes totales de machines-outils est passée de 21 % en 1976 à 41 % en 1982 pour atteindre 57 % en 1988.

2.1 Diffusion de la machine-outil à commande numérique par type de machines

2.1.1 Tours

Les tours à commande numérique sont les machines-outils à commande numérique les plus largement utilisées.

Production : Le tableau 8 montre que 89,5 % des tours fabriqués au Japon ont une commande numérique. La proportion en République fédérale d'Allemagne est de 74,6 %. La production de tours à commande numérique est fortement concentrée au Japon (près de la moitié de la production mondiale); la République fédérale d'Allemagne et l'Italie sont également d'importants producteurs.

Parc de machines : Au Royaume-Uni le nombre de tours sans commande numérique a diminué de 25 % entre 1982 et 1987, tombant à 147 329 unités, tandis que le nombre de machines à commande numérique augmentait de 99 % et atteignait 15 273 unités; la proportion de machines à commande numérique atteignait ainsi 10 % au lieu de 4 % en 1982. Aux Etats-Unis l'évolution a été analogue.

La tendance technologique actuelle consiste à avoir une seule tourelle porte-outils à plusieurs postes pour le tournage des surfaces internes et externes. Avec le degré de sophistication auquel on est maintenant parvenu, l'usinage des pièces peut se faire en une seule opération; les tours simples à deux axes ont fait place aux tours à quatre axes. La possibilité de produire des pièces finies suppose qu'on puisse réunir dans un seul montage les différents outils nécessaires pour usiner la pièce; les centres de tournage peuvent fraiser, forer, aléser aussi bien que tourner. Ils peuvent aussi exécuter simultanément plusieurs opérations semblables.

2.1.2 Alésage, perçage, fraisage

L'alésage et le perçage peuvent être exécutés soit au moyen de tours, soit par des perceuses, des aléseuses et, de temps à autre, des fraiseuses.

Production : Comme le montre le tableau 8, les perceuses à commande numérique représentaient en moyenne en 1988 37,8 % du total des perceuses (69 % au Japon); dans le cas des fraiseuses le rapport moyen était de 71,4 % et pour les aléseuses il est de 43,6 %. Le principal fabricant est la République fédérale d'Allemagne, suivie du Japon.

Parc de machines : Au Royaume-Uni, les fraiseuses à commande numérique ont représenté 21 % des achats de fraiseuses effectués entre 1981 et 1986 contre 8 % entre 1977 et 1981; les taux correspondants pour les aléseuses à commande numérique sont passés de 15 à 21 % et pour les perceuses à commande numérique de 2 à 6 % au cours de la même période.

Les aléseuses, fraiseuses, perceuses à commande numérique sont elles-mêmes remplacées par les centres d'usinage qui exécutent une combinaison d'opérations. Alors qu'en 1976 les centres d'usinage représentaient seulement 38 % de la production de machines exécutant la fonction de fraisage, la proportion a atteint 65 % en 1986 dans les principaux pays producteurs de machines-outils de l'OCDE. Au Royaume-Uni les achats de centres d'usinage ont augmenté très rapidement; les trois quarts de ces achats ont été effectués au cours de la période 1982-1986. En ce qui concerne le parc de machines à commande numérique, les centres d'usinage viennent juste après les tours.

Pour les autres machines-outils travaillant par enlèvement du métal, la diffusion de la commande numérique se poursuit rapidement dans le cas des machines d'usinage par procédé électrochimique et des machines à décharges électriques. Ce matériel se prête bien à l'automatisation, parce que tous les paramètres peuvent être suivis de manière continue.

2.1.3 Machines travaillant par formage du métal

Les machines-outils travaillant par formage du métal, les presses mécaniques et hydrauliques, les poinçonneuses et les étaux-limeurs, les plieuses représentent traditionnellement 25 % de la production mondiale. Plusieurs indications donnent à penser qu'elles représenteront une part croissante de la demande mondiale et concurrenceront, dans certaines sphères d'activité, les machines-outils travaillant par enlèvement du métal. Leur utilisation permet de réduire les séquences d'usinage inévitables quand on procède par coupage du métal. Leur succès, dans la compétition qui va se livrer, dépend de trois facteurs : sera-t-il facile de réduire la partie manuelle de l'opération ? La production en petites séries sera-t-elle possible ? Sera-t-il possible de réduire les coûts d'outillage (outillage de frappe et règles-guides), en augmentation avec l'utilisation croissante de la CAO/FAO et de la commande numérique ?

La progression de la commande numérique a été un peu plus lente pour les machines travaillant par formage du métal que pour les machines par enlèvement du métal.

Production : En République fédérale d'Allemagne, les machines à commande numérique représentaient, en 1988, 19 % des machines travaillant par formage du métal, 70 % dans le cas des cisailleuses et des poinçonneuses et 30 % dans le cas des machines de presse.

Parc de machines : Au Royaume-Uni, la proportion des machines à commande numérique par rapport au total des machines travaillant par formage des métaux est passée de 1,2 % de la capacité installée (en unités) en 1981, à 2,4 % en 1986.

2.2 Diffusion de la machine-outil à commande numérique dans les pays industrialisés

Les statistiques du parc de machines indiquent le nombre effectif de machines en place dans les usines et donnent une indication de la durée de vie utile des actifs productifs, ainsi que la modernité relative des industries mécaniques. En raison de la longévité de l'équipement, les machines-outils classiques constituent l'essentiel du parc de machines installées dans les pays industrialisés.

2.2.1 Parc de machines

Au Japon, le nombre de machines à commande numérique a considérablement augmenté à partir de 1975 et leur proportion dans le parc de machines-outils est passée de 3,6 % en 1981 à 10,7 % en 1987. D'après la dernière enquête, la proportion de machines-outils à commande numérique ayant moins de trois ans représentait 33 % (au lieu de 12 % dans l'enquête précédente) du parc de machines-outils à couper les métaux. Au Royaume-Uni, le nombre de machines-outils à commande numérique employées était de 25 800 en 1982 et de 52 400 (à l'exclusion des robots) en 1987 sur un parc total de 768 000 machines installées. Le pourcentage de machines à commande numérique dans l'ensemble du parc est passé de 0,2 % en 1970 à 7 % en 1986. Les achats de machines-outils à commande numérique effectués au cours de la dernière

décennie représentent maintenant la moitié du parc à commande numérique. Aux Etats-Unis d'Amérique, le nombre total de machines-outils à commande numérique avait plus que doublé en 1988 par rapport à 1983.

L'analyse de la diffusion de la machine à commande numérique dans les différentes branches industrielles du Japon, du Royaume-Uni et de la France conduit à des conclusions analogues. Il semble que les industries mécaniques les moins touchées par l'automatisation concernent l'outillage à main, l'appareillage électrique, les profilés métalliques utilisés en structures, qui sont parmi les secteurs mécaniques les plus répandus dans les pays en développement.

2.2.2 Diffusion parmi les petites entreprises industrielles et les sous-traitants

Les derniers inventaires ont montré que les petites et moyennes entreprises poursuivaient l'acquisition de machines à commande numérique à un rythme accéléré. Si les grosses entreprises ont été les premières à expérimenter les machines à commande numérique, l'introduction de systèmes à commande numérique avec entrée manuelle des données et programmation hors circuit a rendu la commande numérique beaucoup plus attrayante pour les petites entreprises. Cette tendance est claire dans le cas des sous-traitants. "Ils se sont rapidement rendus compte que le centre d'usinage était un outil extrêmement flexible. Outre les travaux à la tâche, le sous-traitant peut soumissionner pour des travaux à la chaîne impliquant un investissement supplémentaire seulement dans les appareils fixés à demeure et dans la programmation." 28/

Tel n'a pas été le cas jusqu'à présent en Italie 29/ où une enquête entreprise parmi 4 000 entreprises a montré que l'adoption de l'automatisation flexible ne pouvait réussir que si elle était accompagnée d'un long processus d'apprentissage, d'opérations pénibles de réorganisation et de mesures de réorientation stratégique qui sont davantage à la portée des grandes entreprises ou d'entreprises plus petites travaillant dans des secteurs de haute technologie et possédant une bonne pratique des techniques électroniques de pointe. Les difficultés semblent être surtout d'ordre organisationnel; elles sont liées à la nature intégrée et intégrante des nouvelles technologies qui oblige, ce qui est tout à fait nouveau, à intégrer la planification de la production et le système de conception.

2.2.3 Prévision pour les années 90

Le tableau 9 présente une estimation du parc de machines-outils à commande numérique en 1990 : les taux d'augmentation du parc en Europe ont oscillé entre 10 et 20 % par an.

La diffusion de la commande numérique comme celle de toute autre innovation technologique peut être représentée par une courbe en S comportant trois parties distinctes : expansion initiale (courbe ascendante), transition (point d'inflexion) et saturation (courbe descendante). Ce schéma peut permettre de prévoir la performance maximale de la technologie et le niveau de saturation mesuré en pourcentage du nombre total de machines-outils installés.

Tableau 9
Evolution du parc de machines-outils à commande numérique
(en milliers)

	Etats- Unis	URSS	Japon	Italie	Rép. féd. d'Allemagne	Royaume- Uni	France
Vers 1970	20	11	5	1	2	3	
Vers 1975	40		14	3			4
1980		21		11	25		10
1981			23				
1982						26	20
1983	103						
1985		65		55	65	45	35
1986							
1987			85			69	
1988	222						
Estimation 1990	240	110	100	100	100	80	60

En utilisant les chiffres de consommation au Japon de 1970 à 1988, on a pu prévoir que le niveau de saturation serait atteint avec 34 % de commandes numériques pour les machines travaillant par enlèvement des métaux, ce qui se produirait après l'an 2000 (figure 15). Dans le cas des Etats-Unis d'Amérique, les commandes numériques pourraient représenter 35 % de l'équipement installé en 2005.

De ces prévisions, on peut déduire que la diffusion des machines-outils à commande numérique atteindra son niveau maximal au cours de la prochaine décennie et que l'impact sur la compétitivité de l'industrie mécanique sera important.

2.3 Machines-outils à commande numérique dans les pays en développement

La machine-outil à commande numérique s'est répandue assez largement dans les nouveaux pays industrialisés d'Asie et d'Amérique latine où la production a commencé et dans une mesure moindre dans d'autres pays en développement.

2.3.1 Production : données provenant des nouveaux pays industrialisés

Comme le montre le tableau 10, les nouveaux pays industrialisés passent actuellement à la fabrication de machines-outils à commande numérique qui représentent 25 % de la production en valeur (30 % pour les machines-outils travaillant par enlèvement des métaux). Ces pourcentages sont parfois fortement influencés par le prix élevé de la machine-outil à commande numérique; c'est particulièrement le cas au Brésil où elles représentaient 3 % de la production en volume (au lieu de 30 % dans les pays industrialisés).

La production est concentrée sur les tours et les centres d'usinage qui représentent 74 % et 78 % des machines-outils à commande numérique fabriquées au Brésil et en Argentine. Dans la province chinoise de Taiwan, il y a une tendance à la diversification, celle-ci portant surtout sur les perceuses et les aléseuses à commande numérique, les machines à décharges électriques et les cellules de fabrication flexible 30/.

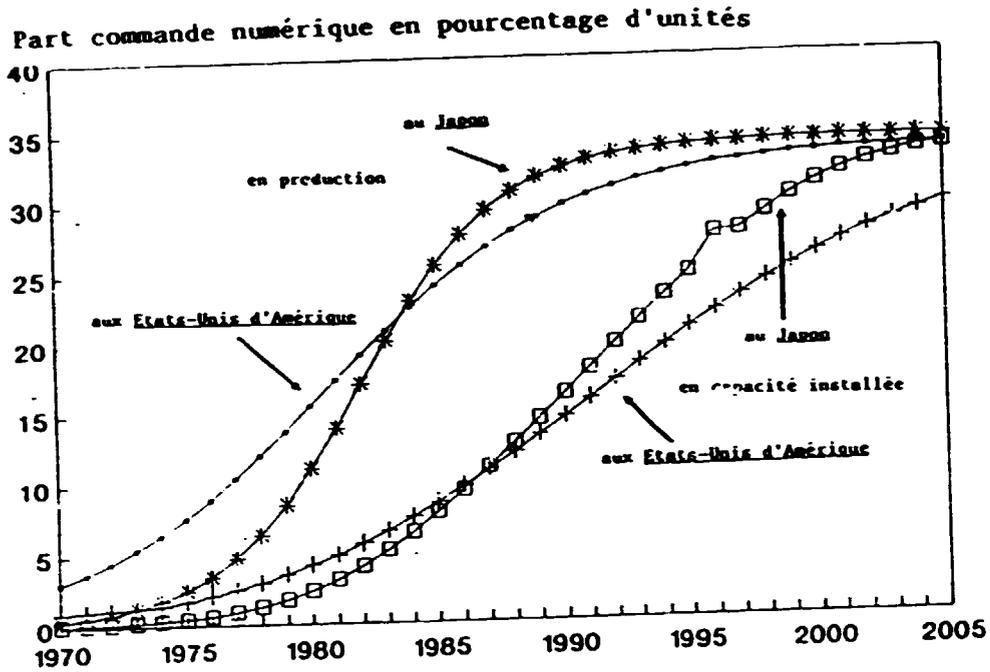
Tableau 10
Production de machines-outils à commande numérique dans des pays en développement choisis*

	1985		1987		1988		1989		Part de la commande numérique dans la valeur de production de la machine-outil
	Millions \$ EU	Unités							
Argentine	1,2	16	10	100	12	96			20 %
Brésil		413	223	1 018	226	742	1 052		43 %
Inde		93		330	71	312			26 %
République populaire de Chine						1 000*			
République de Corée	38		134	2 039	155	2 119	250		27 %
Province chinoise de Taiwan	42	1 118	114		166	3 600	4 900		24 %

* Production de la partie mécanique des machines-outils à commande mécanique.

Sources : CECIMO
 Brazil Bolletim Sobracon 1989
 Electronics Korea February 1990.

Figure 15. PREVISION DE LA PROPORTION DE COMMANDES NUMERIQUES
DANS LA PRODUCTION ET L'INSTALLATION DE MACHINES-OUTILS
TRAVAILLANT PAR ENLEVEMENT DES METAUX



Pour le Japon, données fournies par l'International Institute for Applied Systems Analysis; pour les Etats-Unis, le calcul a été fait par l'auteur.

2.3.2 Diffusion de la machine-outil à commande numérique dans les pays en développement

Le tableau 11 présente les données disponibles sur la diffusion de la machine-outil à commande numérique dans les pays en développement.

Tableau 11
Parc de machines-outils à commande numérique
dans des pays en développement choisis

En unités	1981	1985	1987	1989
République de Corée		2 680	5 000	7 500
Province chinoise de Taiwan		1 220	2 800	6 250
Brésil	986	1 995	4 176	5 800
Singapour	60	700		1 800
Mexique				1 300
Argentine	350	500		800
Colombie			61	
Inde			1 182	

Argentine, Brésil : étude de cas de F. Erber

Mexique : étude de cas

République de Corée, Taiwan : estimations tirées des chiffres de production et du commerce

Singapour : EDB, enquête économique 1989.

2.3.2.1 F-Asie

Le nombre de machines-outils à commande numérique a augmenté à un rythme très rapide dans les nouveaux pays industrialisés d'Asie où les entreprises ont investi pour maintenir leur compétitivité au niveau des exportations. Un marché du travail tendu, l'augmentation des salaires (100 % en dollars entre 1986 et 1989) et l'appréciation des monnaies ont accéléré le passage à l'automation.

- En 1985, 2 680 unités étaient installées en République de Corée; ce chiffre a plus que doublé au cours des trois années suivantes pour atteindre 6 500 en 1988.
- Dans la province chinoise de Taiwan, le nombre d'unités à commande numérique était estimé à 6 200 en 1988.
- A Singapour, l'automation est prioritaire 31/; un plan directeur national a été mis en place : 1 800 machines à commande numérique et 380 robots 32/ étaient utilisés en 1989.
- En Inde, l'inventaire de 1982 a montré que le nombre des machines-outils à commande numérique s'élevait à 1 182; elles sont concentrées à plus de 70 % dans trois secteurs : machines et pièces détachées, matériel de transport, machines électriques. A partir de 1986, il n'y a pas de données fiables; toutefois, une enquête par sondage menée dans 20 entreprises importantes indique que l'automation flexible bénéficie d'une proportion croissante des investissements dans la machine-outil : 41,7 % en 1989 au lieu de 25 % en 1985 33/.

Le nombre de machines par milliers d'employés est de l'ordre de 6,5 en République de Corée, de 15 à Taiwan et de 27 à Singapour alors qu'il est de 20 dans les industries mécaniques des Etats-Unis.

2.3.2.2. En Amérique latine

La récession économique a ralenti le rythme de la modernisation industrielle en Amérique latine. Au Brésil, le parc de machines à commande numérique est passé de 986 unités en 1981 à 1 995 en 1985 et à 5 970 en 1989; elles sont concentrées dans un petit nombre d'entreprises - 420 en 1987 - qui sont de grosses sociétés (plus de 500 employés) et des filiales de sociétés étrangères. D'après une étude menée par l'Institut de recherche et de technologie de l'Université de Sao Paulo, l'âge moyen des machines est de 15 ans, bien que quelques fabricants de machines-outils connus produisent du matériel de pointe 34/.

- En Argentine, le parc de machines-outils à commande numérique est passé de 350 (1981) à 800 unités (1989). Très tôt, les petites et moyennes entreprises se sont équipées en machines-outils à commande numérique, probablement parce que les modèles fabriqués localement et importés étaient relativement simples et peu coûteux 35/.
- Au Mexique, on comptait en 1986 409 machines-outils à commande numérique; plus de la moitié des importations portent sur des machines à commande numérique; le parc de machines était estimé à environ 1 200 à 1 400 unités en 1989. L'industrie automobile employait une cinquantaine de machines à commande numérique.

L'utilisation de l'automatisation flexible peut aller de pair avec un effort systématique pour s'imposer sur le marché étranger; c'est le cas en Argentine 36/ et au Brésil 37/. En Colombie toutefois, les entreprises qui sont les plus grosses exportatrices ne sont pas celles qui utilisent des machines-outils à commande numérique 38/.

Les industries de la machine-outil, de l'automobile et de l'aéronautique concentrent le plus grand nombre de machines-outils à commande numérique au Brésil : des considérations de qualité, la complexité des pièces produites et une marge de tolérance très stricte semblent constituer les principales raisons de l'introduction des machines-outils à commande numérique en Argentine et au Brésil 39/.

2.3.3 Autres pays en développement

Les statistiques disponibles ne permettent pas de tirer des conclusions quant à la diffusion des machines-outils à commande numérique dans d'autres pays en développement.

Les statistiques du commerce des pays industrialisés montrent que 13 pays en développement ne pouvant être considérés comme des pays nouvellement industrialisés ont importé des tours à commande numérique en 1985 et que 15 en ont importés en 1987; le fait que quelques pays ont acheté des tours à commande numérique en 1985 ou en 1987 n'est cependant pas significatif de l'évolution de la diffusion des machines-outils à commande numérique. Les exportations de machines universelles d'usinage du Japon et de la CEE ont été dirigées vers 20 pays en développement en 1987; 14 d'entre eux ont importé du matériel pour plus d'un million de dollars des Etats-Unis.

2.3.4 Perspectives

Il ressort des études disponibles que le marché des machines-outils à commande numérique devrait se développer rapidement dans les pays en développement à revenu intermédiaire :

- En République de Corée, la demande intérieure de machines-outils à commande numérique devrait passer de 3 700 unités en 1990 à 7 000 en 1995 et à 14 000 en l'an 2000 40/ : avec 55 % de la demande, l'industrie des véhicules automobiles sera le débouché le plus important, l'industrie des machines-outils arrivant au deuxième rang.
- Dans une étude de l'OADI sur l'industrie de la machine-outil dans les pays arabes, on a estimé que dans ces pays la demande de machines-outils à commande numérique croîtrait à un rythme annuel moyen de 10 % entre 1990 et 2000 41/, soit plus de deux fois celui de la demande de machines-outils classiques (4 %). On a en outre estimé qu'en l'an 2000 les machines-outils à commande numérique représenteraient 7,5 % de la capacité installée 42/.
- En République populaire de Chine, on a estimé que la demande de systèmes à commande numérique passerait de 2 000 unités en 1989 à 5 000 en 1995 et 7 000 en 1987 43/.
- Dans le cas du Pérou, on a estimé que la demande de machines-outils à commande numérique pourrait dans un proche avenir représenter près de 40 % de la demande totale de machines-outils.

3. INTEGRATION DES SYSTEMES

Alors que l'introduction d'une machine-outil à commande numérique est une innovation consistant à remplacer une machine par une autre, l'introduction d'un système de fabrication flexible apparaît comme une innovation radicale, un moyen d'effectuer de nouvelles opérations. Les gains que l'on peut obtenir grâce à l'intégration systémique des machines à commande numérique sont très supérieurs à ceux que l'on obtient en ajoutant des éléments automatisés et l'on a décrit les systèmes de fabrication flexibles comme des usines miniatures 44/.

3.1. Systèmes de fabrication flexibles

Le nombre total de systèmes installés est passé de 90 en 1980, à 1 200 en 1989 et pourrait, selon les projections de l'Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau 45/, atteindre 3 000 en l'an 2000 (tableau 12). La plupart des systèmes installés comprenant au moins deux machines à commande numérique, on peut estimer que le parc représente moins de 1 % des installations à commande numérique dans le monde. Les deux principaux utilisateurs des systèmes de fabrication flexibles sont le Japon (167) et les Etats-Unis d'Amérique (137); ils sont suivis par la République fédérale d'Allemagne, le Royaume-Uni et la France.

Tableau 12
Répartition des systèmes de fabrication flexibles totalement intégrés
Estimations (unités)

	1980	1983	1985	1987	1988	1989	2000	Projection
Japon	28	135		254		167		
USA	6-14	15-31				137		
Royaume-Uni	3	4				93		
Rép. féd. d'Allemagne	10	13				74		
France	2	13				67		
URSS						56		
Italie		12			25	37		
Suède						36		
Rép. dém. allemande			11			28		
Tchécoslovaquie						23		
Estimations pour le monde entier	80	>100				1 200		3 000

Sources : 1980-1983 : Bessant

Chiffres pour le Japon : 7th Inventory (1987)

Italie : Technovation, 9 (1989) p. 497

Banque de données mondiales sur les systèmes de fabrication flexibles de l'Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau (1989).

La diffusion des systèmes de fabrication flexibles a tendu à se limiter à certaines industries (tableau 13) où ils sont utilisés pour une étroite gamme d'opérations de production de composants particuliers (fabrication de moteurs et transmission dans le cas des automobiles par exemple). La moitié environ des systèmes installés sont employés dans le matériel de transport (voitures, tracteurs, aéronautiques); le deuxième utilisateur principal des systèmes est le secteur des machines non électriques (construction de machines essentiellement) et le troisième est le secteur des machines électriques. En URSS, la moitié des systèmes de fabrication flexibles sont utilisés par l'industrie des machines-outils elle-même, 25 % par l'industrie automobile et 10 % dans le secteur des machines électriques 46/. L'industrie des véhicules automobiles apparaît dans les prévisions de ventes comme le principal débouché compte tenu des propositions actuelles. Les familles de pièces fabriquées sont les culasses, les logements de tambours de freins et les éléments de moteurs.

Tableau 13
Répartition sectorielle des systèmes de fabrication flexibles

Au Japon

Machines générales	169	67 %
Machines électriques	42	17 %
Matériel de transport	39	16 %
Autres	1	0 %
	251	

En Europe

	Royaume-Uni	Suède	RFA
Construction de machines	26 %	38 %	69 %
Véhicules automobiles et moteurs	30 %	16 %	4 %
Aéronautique	12 %		4 %
Electricité électronique	8 %	8 %	
Sous-traitance	24 %	38 %	6 %
	100 %	100 %	83 %

Source : Haywood et Bessant, 1987
MITI, 1987.

Quand ils sont employés avec succès, les systèmes de fabrication flexibles permettent de réduire de manière spectaculaire les coûts de production grâce à une utilisation accrue des machines, à la réduction du temps d'installation et du temps de mise en route (temps d'usinage nécessaire pour achever une opération de découpage), et aux économies réalisées sur les stocks, les travaux en cours, le capital employé et le coût de la main-d'oeuvre. Une étude portant sur 95 systèmes de fabrication flexibles installés aux Etats-Unis et au Japon 47/ avant et après introduction d'un système de fabrication automatisé flexible complet a montré que le temps de fabrication moyen par élément était divisé par 3 et la surface de plancher nécessaire par 2,5 et que les besoins en personnel diminuaient des deux tiers dans le cadre du travail à trois postes.

Cependant, l'investissement dans les systèmes de fabrication flexibles est souvent un processus difficile et les prévisions antérieures concernant leur diffusion se sont avérées trop optimistes parce qu'on avait sous-estimé les facteurs suivants :

- Problèmes techniques concernant les logiciels de jonction et l'organisation du réseau;
- Problèmes d'organisation : les systèmes de fabrication flexibles ne peuvent être considérés comme la solution technologique miracle dans le cas d'une installation inefficace. De grandes compagnies qui avaient beaucoup investi dans l'automatisation de la fabrication ont eu du mal à assurer le rapport coût-efficacité de ces systèmes et à les rendre techniquement fiables. En raison de toutes ces difficultés, les sociétés ont eu tendance à changer d'attitude et à favoriser une approche par étape commençant par des cellules de fabrication flexibles, îlots d'automatisation que l'on raccorde progressivement à la gestion du travail, du transport et des outils pour constituer un système de fabrication flexible dans le cadre d'une opération globale de fabrication intégrée par ordinateur.

3.2 Fabrication intégrée par ordinateur (FIO)

Les évolutions technologiques telles que l'introduction des machines-outils à commande numérique et des systèmes de fabrication flexibles ont été limitées au domaine de la fabrication. Ce stade de l'automatisation pourrait être suivi d'un autre qui concernerait l'intégration de la conception, de la production et de la gestion. Avec les systèmes de fabrication intégrée par ordinateur, chaque microprocesseur, robot et dispositif de commande programmable d'une usine est relié à des réseaux et les informations relatives à toutes les phases de la production sont introduites dans un ordinateur 48/. Dans les bureaux d'études, la diffusion des systèmes de conception assistée par ordinateur, d'abord utilisés pour la préparation des plans, permet d'intégrer des concepts et des modifications dans un ensemble complet de plans. Ces systèmes permettent, grâce à divers postprocesseurs de conception et de fabrication assistées par ordinateur (CAO/FAO), d'obtenir les données nécessaires pour le matériel de production commandé par ordinateur. De manière similaire, on dispose maintenant pour les diverses activités de gestion de la production de modules pour logiciels intégrés ou de logiciels de gestion qui utilisent les éléments provenant de la même base de données centrale.

C'est dans les années 50 que l'on a pour la première fois décrit une usine sans personnel, attendue pour le début des années 70. Quarante ans plus tard, l'usine sans ouvriers reste du domaine de l'imagination 49/. Les cadres qui rêvaient de remplacer l'homme par des robots ou des machines à commande numérique s'aperçoivent qu'avec la complexité croissante des machines, le problème de trouver de bons ouvriers reste entier. L'idée que les ateliers de fabrication de machines disparaissent à cause de l'automatisation apparaît comme un mythe : "l'automatisation, c'est très bien lorsque vous avez quelqu'un pour l'exploiter, et faire le travail de réflexion nécessaire" 50/. Il apparaît que la vision technocentrique de l'usine du futur est une impasse 51/. L'automatisation flexible ne peut fonctionner que si l'on dispose de techniciens hautement qualifiés et si une bonne combinaison personnel-machines permet de créer davantage de valeur ajoutée.

IV. QUESTIONS QUI POURRAIENT ETRE EXAMINEES A LA CONSULTATION

Pour les pays en développement, la transformation de la machine-outil d'une machine bruyante actionnée par des hommes en bleu de travail en un dispositif automatisé mis en marche par des techniciens et des programmeurs, a des incidences qui vont bien au-delà de la seule question de l'entrée dans l'industrie de la machine-outil et des moyens de suivre le progrès technologique. L'analyse devrait se situer dans une perspective plus large, celle du changement des règles de la concurrence dans les industries mécaniques et les secteurs apparentés.

Les réunions préparatoires à la quatrième Consultation sur l'industrie des biens d'équipement, et plus particulièrement sur les machines-outils, devraient donc se pencher sur les problèmes qui se posent non seulement aux constructeurs de machines-outils, mais aussi à l'industrie transformatrice des métaux et aux industries mécaniques, qui sont les principales utilisatrices de machines-outils.

En outre, les réunions devraient explorer les possibilités qu'offre la coopération régionale et internationale et en définir les grands axes. Il est ainsi proposé que la Consultation examine les questions ci-après :

- 1) Conditions de l'entrée et du progrès technologique dans l'industrie de la machine-outil;

- ii) Considérations relatives à l'emploi de la technologie des machines-outils avancées dans l'industrie transformatrice des métaux et dans les industries mécaniques;
- iii) Eléments d'une coopération régionale et internationale dans la production et l'emploi de machines-outils.

Les trois questions proposées sont développées ci-dessous.

1. CONDITIONS DE L'ENTREE ET DU PROGRES TECHNOLOGIQUE DANS L'INDUSTRIE DE LA MACHINE-OUTIL

1.1 L'entrée dans la filière de la machine-outil

L'une des décisions les plus importantes qu'un pays en développement soit appelé à prendre en matière de biens d'équipement est celle de savoir s'il va en fabriquer ou en acheter ^{52/} eu égard à la gamme de productions fixée et à l'acquisition des techniques requises.

1.1.1 Contraintes

Les pays en développement désireux de s'engager dans l'industrie de la machine-outil se heurtent surtout à des contraintes d'ordre technique et économique.

Contraintes techniques

L'analyse de la complexité technologique d'une machine-outil de type classique grâce à la méthode ACT mise au point par l'ONUDI ^{53/} montre que pour ce qui est des techniques nécessaires à la fabrication, les machines-outils de type classique ont à peu près la même complexité que les postes de radio, les téléphones ou les bicyclettes. Si la complexité du produit n'apparaît donc pas comme un obstacle insurmontable, l'engagement dans le secteur se heurte aux contraintes techniques suivantes :

- Pénurie de personnel qualifié. L'industrie de la machine-outil a besoin d'ingénieurs et d'ouvriers spécialisés ayant acquis une certaine expérience dans l'industrie transformatrice des métaux. Il n'est facile ni de trouver des travailleurs aussi qualifiés ni de les retenir, à cause de l'activité cyclique de cette branche. L'avènement des machines CNC et de la conception assistée par ordinateur aide à atténuer cette contrainte. Pour atteindre une productivité maximale dans l'usinage par les machines CNC, la connaissance approfondie des techniques d'enlèvement des métaux est indispensable;
- Insuffisance des industries auxiliaires (moulage, forgeage, taillage des engrenages, traitement thermique de matières brutes, éléments et services techniques). La mise en place d'unités intégrées est un moyen coûteux de lever cet obstacle (1.1.3).

Importance restreinte des marchés

Dans les pays industrialisés ainsi que dans les pays en développement, les gros constructeurs de machines-outils peuvent faire fond sur des industries mécaniques puissantes. C'est là une condition de l'accès au secteur : la décision d'investir ne devrait pas être fondée sur des arguments comme la nature "stratégique" de la filière de la machine-outil.

L'importance du marché est en rapport direct avec l'état de développement des industries mécaniques (voir figure 5). Dans la plupart des pays en développement à revenus intermédiaires, le montant des ventes de machines-outils est inférieur à 100 millions de dollars des Etats-Unis par an, alors qu'il ne dépasse souvent pas le cap d'un million de dollars des Etats-Unis dans les pays peu développés. Cette contrainte peut réduire les possibilités s'offrant aux pays caractérisés par des industries mécaniques dont la valeur ajoutée ne dépasse pas le montant estimatif minimum de 100 millions des Etats-Unis (1986) 54/.

Le marché est aussi très fragmenté, ce qui devrait retenir une attention particulière. Alors que les grosses entreprises de l'industrie mécanique préfèrent souvent s'équiper en machines sophistiquées pour des raisons liées aux tolérances, les petites entreprises et les ateliers de réparation ne connaissent pas à cet égard les mêmes contraintes, seront mieux enclins à acheter des machines simples et, partant, susceptibles de constituer un début de marché pour les constructeurs locaux.

En mettant trop l'accent sur les contraintes propres au marché intérieur, on ne prend cependant pas assez en considération les possibilités qu'offrent les marchés régionaux ou internationaux. Les constructeurs des pays industrialisés (où neuf machines sur dix continuent à être de type classique) tendent à adopter des machines à commande numérique, évolution qui pourrait créer certains débouchés pour les pays en développement.

1.1.2 Gamme de production

La machine-outil classique restera, dans un avenir prévisible, le type de machine le plus largement demandé dans la plupart des pays en développement. Le passage direct à la production de machines-outils à commande numérique n'est pas réalisable; il faut procéder par étapes en partant du montage pour intégrer progressivement la fabrication de machines-outils classiques. Cette façon de procéder est également la seule qui techniquement soit envisageable pour la fabrication de matériel plus avancé.

Le démarquage mécanique et la coopération Sud-Sud peuvent également être mis au service du transfert technologique.

1.1.3 Intégration

Pour pallier le manque de fiabilité des services de sous-traitance, les pays en développement ont souvent opté pour l'intégration très poussée. Cette option n'a généralement été concluante, ni économiquement puisqu'elle s'est soldée par un faible niveau d'utilisation des installations, ni techniquement puisqu'il n'y a pas eu de retombées sur d'autres entreprises.

S'il est si difficile de parvenir à un juste équilibre entre intégration et sous-traitance c'est parce que les besoins de la filière machine-outil en termes de fonderie, de forgeage, de taillage des engrenages sont très faibles comparés à ceux de l'industrie automobile, par exemple : il est donc impossible de promouvoir un secteur de sous-traitance axé sur les besoins du seul secteur de la machine-outil.

1.1.4 Politique industrielle : promotion de la compétitivité nationale

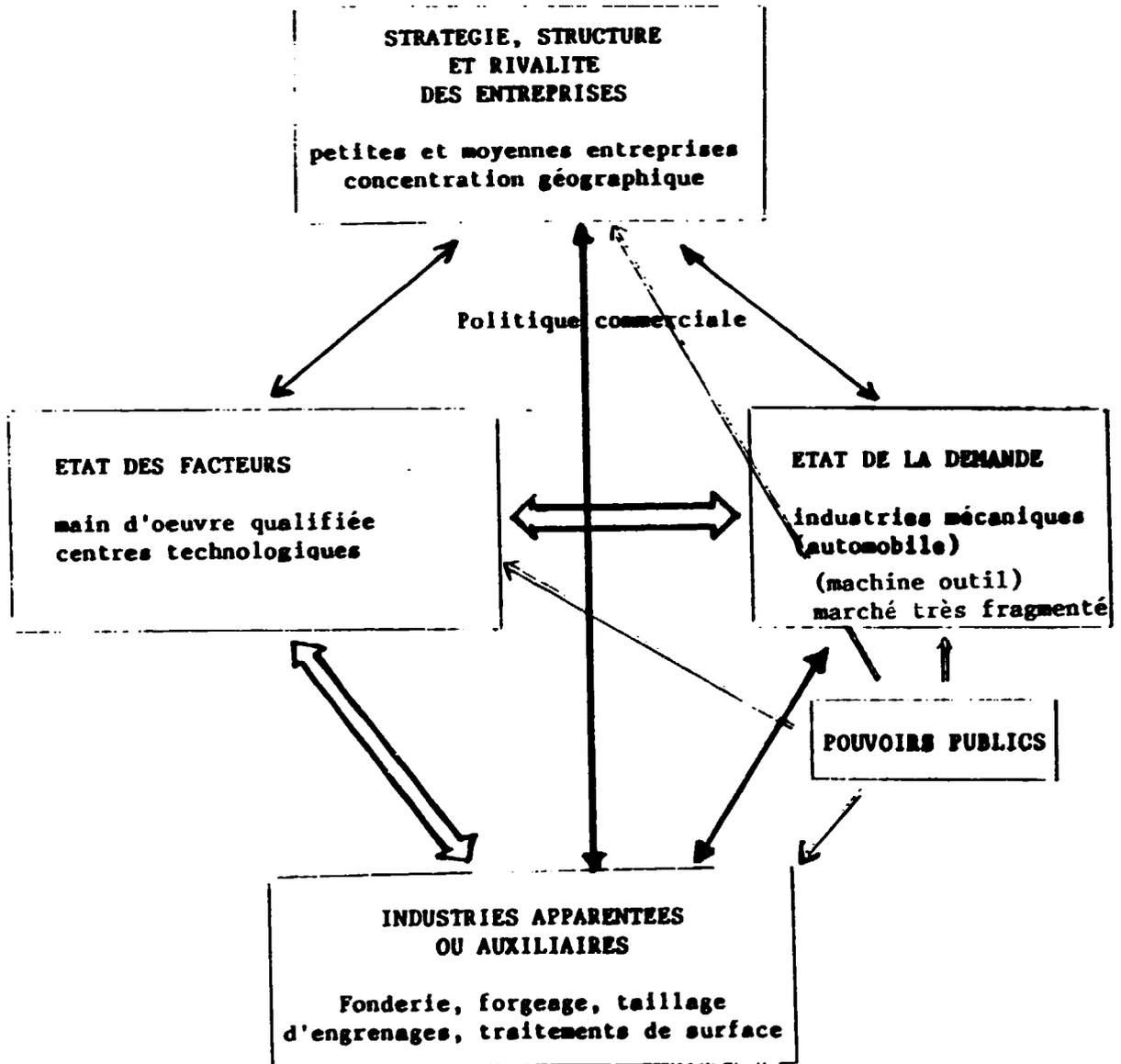
Les performances des entreprises du secteur public dans la production de machines-outils ont souvent été décevantes. Les politiques industrielles des gouvernements devraient agir sur chacun des éléments qui donnent un avantage décisif à cette filière afin de promouvoir la compétitivité du pays.

Dans un secteur comme la machine-outil, plusieurs avantages se combinent et se renforcent mutuellement pour améliorer la position dans la concurrence comme le montre la figure 16 55/.

- i) Certains facteurs comme une main-d'oeuvre très qualifiée (en mécanique et, de plus en plus, en électronique et en mécanique-électronique) sont décisifs pour la compétitivité. Dans les pays industrialisés, les centres technologiques et les associations professionnelles ont constitué d'importantes sources d'information. Dans les pays en développement, les gouvernements devraient fournir des moyens de formation adéquats pour aider les entreprises;
- ii) La demande intérieure ne devrait pas seulement être évaluée en termes de volume des ventes : il faudrait aussi prendre en considération ses aspects qualitatifs; la compétitivité de la filière de la machine-outil est essentiellement définie par son aptitude à répondre à la demande complexe des industries mécaniques locales; le gouvernement peut influencer sur la demande locale par sa politique d'achat ainsi que par ses activités normatives et réglementaires. Il peut aussi jouer un rôle important en faisant largement connaître les nouvelles technologies et les nouveaux débouchés;
- iii) Secteurs connexes et d'appui : l'industrie de la machine-outil est dépendante des ateliers de forgeage, de fonte, de taillage des engrenages, de traitement des surfaces; des relations étroites doivent donc être instaurées entre les fournisseurs et les fabricants de machines-outils pour promouvoir le développement technologique de la filière. Au lieu de créer des usines intégrées, le gouvernement devrait promouvoir de petites et moyennes industries d'appui dans le cadre du programme de développement de l'industrie mécanique afin d'assurer une bonne utilisation des capacités et de pallier l'impact des pénuries périodiques que doit affronter le secteur de la machine-outil;
- iv) Stratégie, structure des entreprises et concurrence interentreprises : le secteur de la machine-outil est souvent composé de moyennes entreprises spécialisées dans des produits occupant des créneaux. Les efforts déployés pour restructurer le secteur et promouvoir une poignée de groupes importants se sont soldés par un échec dans les pays industrialisés 56/. Toutefois si les regroupements ont été désastreux, la collaboration pour la recherche-développement et les services après-vente a donné de bons résultats. Les pays en développement pourraient s'inspirer de cet exemple.

Comme toute activité à ses débuts, la filière de la machine-outil est vulnérable et a besoin d'une certaine forme de protection pendant la période d'apprentissage. La position de monopole jointe à l'imposition de droits de douane sur les importations et à d'autres mesures protectionnistes ont trop souvent dépassé l'objectif et compromis la compétitivité de la filière. Il ne faut pas promouvoir l'industrie de la machine-outil (qui est un petit secteur de l'industrie manufacturière) aux dépens d'autres secteurs de l'industrie mécanique; les mesures de protection doivent être temporaires et il faut convaincre les utilisateurs qu'à long terme l'existence d'une industrie locale de la machine-outil peut leur être profitable.

Figure 16. DIAGRAMME EN FORME DE LOSANGE DE L'INDUSTRIE DE LA MACHINE-OUTIL



Adaptation d'un diagramme emprunté à M. Porter : The competitive advantage of nations.

Il est important que l'industrie de la machine-outil accède rapidement à la viabilité économique et à la compétitivité parce que des mesures de protection prolongées risquant de la rendre inefficace porteront tort au bon développement de l'ensemble des industries mécaniques du pays.

1.2 L'accès aux machines-outils à commande numérique

1.2.1 Difficultés

Les machines-outils de type classique resteront pendant de nombreuses années encore celles qui seront le plus largement utilisées; l'augmentation de leur demande se tassera, tandis que le marché de la commande numérique se développera dans les pays industrialisés et dans certains pays en développement. L'expérience de pays en développement qui ont entrepris la fabrication de machines-outils à commande numérique montre qu'il s'agit d'une opération extrêmement difficile qui ne peut être menée à bien que par un tout petit nombre de pays.

- Les difficultés techniques que présente la production de machines-outils à commande numérique sont du domaine de l'électronique et du domaine de la mécanique : le problème est qu'il faut parvenir à intégrer des capacités électroniques dans l'équipement mécanique, ce qui requiert des compétences en mécanique et en électronique;
- Les pays en développement sont gênés par la faiblesse inhérente à leur industrie mécanique ainsi qu'à leurs capacités de conception et de construction de machines. Une enquête effectuée en République de Corée (encadré 4) a montré que les difficultés rencontrées étaient plutôt du domaine de la mécanique (servomoteur, dispositifs de mesure, outils d'enlèvement des métaux, toupies, composantes hydrauliques) que de celui de l'électronique ou du logiciel. On voit donc que : "les aspirations des pays en développement à exporter dans le secteur mécanique sont limitées au plan technique, non par leur manque de compétences dans les techniques informatiques, mais par la faiblesse générale de l'industrie mécanique de base et de leur capacité de conception et de construction de machines" 57/.

La production locale d'unités à commande électronique a commencé au Brésil et en République de Corée où les marchés nationaux se chiffrent respectivement à 20 millions et 55 millions de dollars des Etats-Unis 58/. Au Brésil, la production est répartie entre trois fournisseurs captifs (producteurs de machines-outils) et quatre fournisseurs sur le marché libre (80 % du marché). La concurrence est minime, bien que ce monopole soit menacé par une entreprise électronique qui a mis au point un modèle simple de commande numérique. Il apparaît que les prix des machines-outils à commande numérique représentent environ quatre fois le prix des modèles japonais comparables. L'encadré 5 indique comment on peut passer de la fabrication de machines-outils classiques à la commande numérique en mettant l'accent sur le logiciel.

Encadré 4. Principales contraintes techniques rencontrées par les fabricants de machines-outils à commande numérique

		<u>Retard sur les pays industrialisés (en années)</u>	<u>Mode d'acquisition de la technologie</u>	
Equipement	<u>Matériel électronique</u>			
	Unité centrale	3 à 5	Mise au point localement	
	Moniteur et clavier	3 à 5	Importée	
	Automate programmable	1 à 3	Locale	
	<u>Equipement électrique et mécanique</u>			
	Transformateur	5 à 10	Mise au point localement	
Servomoteur	plus de 10	Importée		
Appareil de mesure	plus de 10	Importée		
Logiciel	<u>Pour les outils</u>			
	Moteur	1 à 3	Mise au point localement	
	Commande sur axes multiples	1 à 3	Mise au point localement	
	<u>Pour les périphériques</u>			
	Commande des séquences	1 à 3	Mise au point localement	
	Interface	3 à 5	Mise au point localement	
	<u>Logiciel spécifique</u>			
	Graphiques	1 à 3	Mise au point localement	
	Commande numérique	3 à 5	Mise au point localement	
	Conception technique	<u>Principaux types de machines</u>		
Centres d'usinage		1 à 3	Mise au point localement	
Tour		1 à 3	Mise au point localement	
Fraiseuse		3 à 5	Mise au point localement	
Machine à décharge électrique		5 à 10	Importée	
<u>Composantes mécaniques</u>				
Outils d'enlèvement des métaux		plus de 10	Mise au point localement	
Broche		plus de 10	Importée	
Système de transfert		3 à 5	Mise au point localement	
Composantes hydrauliques		plus de 10	Importée	
Techniques de fabrication et de montage		<u>Principales opérations</u>		
		Coulage sous pression	5 à 10	Importée
	Traitement thermique	5 à 10	Importée	
	Finition	1 à 3	Mise au point localement	
	Contrôle de la qualité	1 à 3	Mise au point localement	
	<u>Automation</u>			
	Conception et étude	5 à 10	Importée	
	Fabrication	1 à 3	Mise au point localement	

Source : Korea Institute for Economics and Technology 1988, in Judet P. : L'industrie de la machine-outil en Corée, ONUDI 1990.

Encadré 5. Choix d'un mode de transfert technologique pour la mise au point d'une technique de commande numérique

On peut procéder de trois manières pour transférer et/ou mettre au point des techniques de commande numérique :

- i) Acheter le paquet complet à un fournisseur de réputation internationale par une opération clefs en main;
- ii) Démontier le paquet technologique et mettre la machine au point localement en partant de zéro;
- iii) Combiner i) et ii), c'est-à-dire sous-traiter certaines parties du paquet technologique à des sociétés étrangères possédant une bonne expérience du secteur considéré et mettre au point le reste localement.

La formule choisie dépend de la technologie disponible, des coûts impliqués, du temps nécessaire pour assimiler la technologie, des besoins en personnel, des risques associés à la réalisation des objectifs fixés et du degré d'assimilation des technologies.

Si les systèmes à commande numérique basés sur un microprocesseur ultramoderne doivent prochainement accéder à la complexité 32-bit, le système de commande numérique à 16-bit est disponible : il est encore fabriqué et commercialisé par toutes les grandes sociétés. L'opération clefs en main représente le moyen d'acquisition le plus rapide, la mise au point locale, qui exige de multiples compétences, étant le plus long. En revanche, du point de vue du degré d'assimilation de la technologie, la mise au point locale est préférable.

Méthode de transfert technologique

Paramètres	Clefs en main	Mise au point locale	Mixte
Difficulté à obtenir la technologie	*	****	***
Coûts impliqués	****	*	**
Besoins en personnel	*	****	***
Risques de <u>ne pas</u> atteindre les objectifs fixés	*	***	**
Temps nécessaire pour assimiler la technologie	**	****	***
Risque que la technologie ne soit pas assimilée	****	*	**

**** Très élevé

*** Elevé

** Moyen

* Faible

Adapté du document concernant le projet de mise au point d'un système à commande numérique DP/CPR/89/017/A/01/37

1.2.2 Compétitivité

La comparaison des prix unitaires (et des prix moyens) de machines semblables au Japon, en Corée et dans la province chinoise de Taïwan fait apparaître peu de différences; mais il n'en est pas de même entre les pays d'Asie de l'Est, l'Inde et le Brésil où le prix moyen d'une machine-outil à commande numérique représente cinq fois le prix moyen coréen. Les prix des centres d'usinage sud-coréens représentent aussi la moitié et un tiers du prix argentin 59/.

Le prix élevé de ces équipements pèse sur la modernisation de l'industrie d'Amérique latine. En période d'instabilité économique, les décideurs ne sont pas enclins à prendre de gros risques, ni bien sûr à investir dans la modernisation. La plupart des fabricants de pièces automobiles au Brésil ont décidé que les achats d'équipements nouveaux devaient être remboursés sur deux ans 60/, ce qui est incompatible avec l'achat de machines à commande numérique.

2. CONSIDERATIONS RELATIVES A L'UTILISATION DE TECHNIQUES DE MACHINES-OUTILS AVANCEES DANS LES INDUSTRIES DE LA METALLURGIE ET DE LA MECANIQUE

Les changements qui affectent les machines-outils doivent être considérés dans le contexte plus large des grandes évolutions déterminantes pour la concurrence industrielle mondiale 61/. Toutefois, avec le processus de mondialisation, les différences liées aux facteurs de production (capital, main-d'oeuvre, matériau) se sont amoindries et la compétitivité se joue essentiellement sur la capacité technique des entreprises à mettre au point de nouveaux produits et de nouveaux procédés pour répondre aux besoins sans cesse changeants du marché.

La compétitivité est devenue le mot clef et tandis que les bas salaires ne jouent plus un rôle déterminant, la souplesse de la production, la personnalisation des produits et des délais de livraison sont devenus les facteurs décisifs pour la compétitivité dans des secteurs tels que l'électronique, les véhicules automobiles, les composants automobiles et, de plus en plus, dans d'autres industries mécaniques où le rythme de renouvellement des produits tend à s'accélérer.

Ces modifications de l'environnement économique ont poussé les industries mécaniques des pays industrialisés à :

- S'équiper de matériel flexible (machines-outils à commande numérique, centres de fabrication flexible et systèmes de fabrication flexible) : comme on l'a montré, la diffusion de ce matériel atteindra son niveau maximal au cours de la prochaine décennie;
- Adopter de nouvelles pratiques de fabrication associant par exemple étroitement conception et production, produire "just in time" pour éviter les stocks improductifs.

Ces changements auront un impact important sur les industries mécaniques des pays en développement. Ce sera particulièrement le cas dans des secteurs tels que l'aéronautique, la machine-outil, le matériel de transport et certaines composants automobiles, ou du matériel à usage général comme des pompes. Cette nouvelle pression de la compétitivité, déjà ressentie sur les marchés d'exportation, s'exercera de plus en plus sur les marchés intérieurs du fait de la libéralisation des importations 62/.

Les pays en développement devront suivre cette évolution qui soulève plusieurs problèmes. Les retentissements sur l'emploi sont un faux problème. Les pertes d'emplois dues à la commande numérique n'ont pas été importantes; elles le seront davantage dans les pays qui ne s'adaptent pas.

Dans certains secteurs où la qualité des produits est la considération dominante (outils de précision, instruments professionnels), la machine à commande numérique est effectivement devenue la norme; dans les autres secteurs, le problème pour les pays en développement est de devenir compétitifs à l'échelle mondiale en améliorant leurs méthodes de production.

2.1 Automation industrielle dans les pays en développement

La diffusion des techniques d'automation flexible représente une menace pour les pays en développement; mais la parade ne consiste pas forcément à investir dans l'achat d'équipement. De nombreuses études de cas effectuées dans les pays industrialisés ont montré que les investissements dans du matériel d'automation flexible n'ont de chance d'être pleinement bénéfiques que s'ils sont précédés ou accompagnés de mesures de réorganisation: "tout ce que vous obtenez, si vous introduisez un ordinateur dans une organisation chaotique, c'est un chaos informatisé" 63/.

La première étape de l'automation industrielle doit donc être la réorganisation de l'usine et de l'entreprise.

2.2 Changements organisationnels

L'équipement avancé n'apporte de solution que si certaines conditions préalables sont réunies, plus précisément si la gestion et l'organisation de la production ont été améliorées: "on n'acquiert pas un système de fabrication flexible, on devient un système de fabrication flexible" 64/. Une part importante des avantages tirés des investissements dans l'automation flexible vient du changement organisationnel et, comme l'ont vigoureusement souligné plusieurs auteurs 65/, on pourrait en conclure que ces innovations au plan de l'organisation constituent en fait un logiciel distinct des changements techniques et peuvent dispenser d'avoir à acheter l'équipement.

La stratégie d'automation industrielle devrait procéder de manière progressive 66/ en commençant par une réorganisation destinée à donner des gains de productivité et de flexibilité; les changements porteront sur l'agencement des installations, le développement des compétences, l'adoption d'une nouvelle organisation du travail, la planification et le plan d'exécution et le contrôle de la production. Il est possible de passer progressivement de la méthode traditionnelle à la fabrication avancée en établissant au niveau de l'usine un îlot de fabrication autonome 67/ (Autonomous Manufacturing Island-AMI) pour un groupe de pièces choisies. On peut alors combiner machines classiques et machines à commande numérique pour entreprendre les différentes opérations d'usinage en optimisant à l'aide d'ordinateurs la planification et le contrôle de la production, les flux de matériaux et les séquences d'opérations. La gestion des outils et l'entretien des machines et outillages font partie intégrante de l'AMI. L'investissement immédiatement nécessaire est relativement modique et le principe est facilement transposable à d'autres groupes de pièces détachées dans la même usine ou dans d'autres établissements. De même, le passage de la machine-outil classique à la machine-outil à commande numérique peut s'opérer progressivement à mesure que deviennent disponibles les fonds pour les investissements, ainsi que la main-d'oeuvre spécialisée et les ressources techniques.

La réorganisation devrait déborder le cadre de l'entreprise avec la mise en place d'une politique appropriée de sous-traitance pouvant augmenter la souplesse comme cela s'est vu en Italie et au Japon 68/.

2.3 Achat de matériel

En matière d'automatisation industrielle, trois grandes options sont ouvertes : machines à commande numérique, cellules de fabrication flexible, systèmes de fabrication flexible. Il ne faut jamais oublier que l'investissement dans des machines complexes comme le système de fabrication flexible et la cellule de fabrication flexible peut facilement être de l'ordre de 500 000 dollars des Etats-Unis par lieu de travail 69/. La plupart des experts considèrent que la machine à commande numérique constitue la technique la plus intéressante pour les pays en développement parce qu'elle peut être considérée comme entrée dans l'âge adulte. Elle permet de faire l'économie de main-d'oeuvre qualifiée 70/, ce qui est un puissant argument en sa faveur. Les données disponibles donnent à penser que, si les pays en développement utilisent déjà efficacement des machines-outils classiques, les machines-outils à commande numérique ne devraient pas poser de problèmes de compétence insurmontables. Par contre, les coûts d'équipement, les conditions d'échelle, les personnels qualifiés disponibles, les marchés protégés et la disponibilité du fournisseur peuvent constituer des contraintes. L'investissement dans la commande numérique devrait être analysé avec prudence : l'achat d'une commande numérique est coûteux, il représente trois fois le prix d'une machine-outil classique et les conséquences d'une panne peuvent être catastrophiques 71/.

Le choix d'une machine à commande numérique devrait tenir compte de facteurs économiques : coût fixe de la préparation de la machine et coûts variables (coûts de la main-d'oeuvre et coûts en capital) et réparation et entretien d'un côté, de l'autre variété des produits, dimension du lot, taux d'utilisation.

L'un des principaux avantages de la machine-outil à commande numérique est la flexibilité. Mais celle-ci n'est pas donnée automatiquement, il faut savoir l'utiliser 72/. Les machines à commande numérique permettent des économies d'échelle, mais l'expérience des entreprises moyennes des pays industrialisés montre que dans bien des cas l'équipement flexible est utilisé pour fabriquer un groupe de composantes identiques. Une usine est organisée pour fabriquer des composantes déterminées; pour tirer parti des avantages qu'offre la flexibilité de la machine-outil à commande numérique, il faut entreprendre l'évaluation technologique de l'usine et en modifier l'organisation, ce qui peut être coûteux.

L'impréparation de l'entreprise, la publication de performances théoriques non vérifiées, le manque de formation et l'absence de maîtrise technique sont à l'origine de nombreuses expériences amères dans les pays industrialisés. Dans bien des cas, l'introduction de l'automatisation flexible n'a pas été payante.

Les investissements dans les machines-outils à commande numérique devraient être analysés de manière très prudente en se référant à des données ayant fait leurs preuves et les industries mécaniques des pays en développement devraient rechercher l'avis des services consultatifs désignés par des associations professionnelles ou des centres techniques.

3. ELEMENTS DE COOPERATION REGIONALE ET INTERNATIONALE DANS LA PRODUCTION ET L'UTILISATION DE MACHINES-OUTILS

Pour contourner les contraintes des marchés nationaux, il faudrait promouvoir un système de coopération régionale sur le modèle de la coopération commerciale entre l'Argentine et le Brésil. Il faudrait aussi explorer les possibilités offertes par les systèmes de coopération Nord-Sud-Sud. Le but serait de produire dans différents pays des éléments de machines-outils qui seraient ensuite montés dans les pays et en partie réexportés vers les pays industrialisés. La coopération Nord-Sud-Sud a déjà joué dans le cas des machines-outils de type classique 73/, et un système analogue est en cours d'évaluation dans le cas de l'industrie automobile 74/.

La coopération internationale devrait être centrée sur la formation 75/ et sur la mise en commun des expériences concernant la diffusion de l'automobile industrielle. La coopération internationale devrait également viser à combler l'absence de normes, lesquelles font cruellement défaut aux pays en développement achetant des machines-outils à commande numérique. Il faudrait donc poursuivre les efforts pour établir des normes internationales (et publiques) pour la machine-outil à commande numérique.

Notes

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

2/ WS Atkins, Consultants en gestion : Etude stratégique du secteur de la machine-outil dans les CE, mai 1990, rapport soumis à la Commission des communautés européennes.

3/ Aux Etats-Unis une enquête a montré qu'environ 75 % de toutes les pièces usinées étaient produites en séries de moins de 50 unités.

4/ Le coefficient de commercialisation est donné par la formule suivante : importation + exportation/production.

5/ C.F. Pratten: "Economies of scale for machine tool production" in The journal of industrial economics Vol. 19 1970-1971, p. 148 à 165.

6/ A l'exception de la République fédérale d'Allemagne où une vingtaine d'instituts universitaires et beaucoup d'Instituts Fraunhofer font des travaux sur les machines-outils. L'Institut d'Aix-la-Chapelle est considéré comme le meilleur laboratoire de machines-outils du monde; ceux de Berlin, Stuttgart et Hanovre ont une excellente réputation.

7/ La production mondiale de machines-outils est traditionnellement mesurée par la production globale des 35 pays couverts par American Machinist. Ce total représenterait 95 % de la production mondiale. Les données de production et les chiffres concernant les échanges se réfèrent pour la plupart des pays aux machines-outils complètes à l'exclusion des pièces et des accessoires.

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

9/ Par exemple, les licences lucratives pour les importations de sucre et des subventions dissimulées tirées des recettes de l'Etat provenant du jeu sur les courses de bicyclettes et de motocyclettes. Voir Clide B. Prestowitz, Jr: Trading places, how we allowed Japan to take the lead Basic Books Inc., 1988, p. 222 et 223.

10/ Dans les pays en développement, il arrive souvent que les fabricants de machines-outils ne figurent pas dans les statistiques industrielles, soit parce qu'il s'agit de trop petites unités, soit parce qu'elles sont intégrées à diverses entreprises métallurgiques.

11/ A savoir, Brésil, Chine (RPC), Chine (Taiwan), Yougoslavie, République de Corée, Argentine, Inde, Mexique, Singapour, Hong-kong.

12/ A l'exclusion de la valeur ajoutée des machines électriques du fait du biais introduit par l'industrie électronique qui est fortement développée en Asie du Sud-Est et qui n'offre pas de débouché important à la machine-outil et comme indiqué par l'ONUDI dans son rapport Industrie et développement dans le Monde 1989/90.

13/ La méthodologie est adaptée à celle qui a été élaborée par WS Atkins dans l'Etude stratégique du secteur de la machine-outil dans les CE.

14/ Les données sur les exportations sont établies par la Commission économique pour l'Europe; à la différence des chiffres concernant les exportations de machines américaines, les exportations de pièces de machines-outils sont prises en compte (SITC 736).

15/ Ces données diffèrent des données de l'American Machinist : i) les statistiques des Nations Unies prennent en compte les importations de pièces détachées; ii) les machines-outils importées par des pays en développement en provenance d'autres pays en développement ne sont pas prises en compte.

16/ Y compris la province chinoise de Taiwan qui ne figure pas dans les statistiques des Nations Unies.

17/ Les statistiques de la CEE ne prennent pas en compte les exportations de pays en développement vers d'autres pays en développement. Mais le volume de ce commerce Sud-Sud reste extrêmement limité.

18/ Etude stratégique CE. Les prévisions ont été faites avant la crise du Golfe et n'ont pas pris en considération la probabilité d'une récession dans les principaux pays industrialisés.

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

20/ Piore et Sabel : The second industrial divide: possibilities for prosperity, Basic Books, 1984.

21/ Il ne faut pas oublier que la souplesse est affaire d'organisation : des machines identiques peuvent être utilisées de manière rigide ou de manière flexible.

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

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

24/ D'après la fiche de transmission jointe à chaque pièce qui passe.

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

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

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

28/ Metalworking production, sixième enquête sur la machine-outil et l'équipement de production en Grande-Bretagne.

29/ Exposé du Professeur Camagni, Réunion d'experts internationaux pour un programme régional sur l'automation industrielle de l'industrie des biens d'équipement en Amérique latine, ONUDI, Vienne, décembre 1989.

30/ En 1984, une société de Taiwan a exporté le premier système d'usinage flexible. American Machinist, février 1984.

31/ Ministère du commerce et de l'industrie : Economic Survey of Singapore, 1989, p. 25.

32/ La plupart sont utilisés pour les opérations de montage et 57 % sont employés dans les secteurs fabriquant des appareils électroniques et électriques.

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

34/ "Market reserve policies provoke growing conflicts as Brazil's technology lags", Business Latin America, 3 avril 1989.

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

36/ D. Chudnovski : The diffusion and Production of Numerically controlled machine tools with Special reference to Argentina, World Development, vol. 16, N° 6, p. 723 à 732, 1988.

37/ Une enquête menée sur les fabricants de pièces automobiles en 1984 a montré que les fabricants qui utilisaient des machines-outils à commande numérique étaient également ceux qui exportaient le plus. R. Tauile : Automacao e competitividade, uma avaliacao das tendencias no Brasil, Instituto de Economias Industrial, Rio de Janeiro, 1987.

38/ Fedemetal: Las nuevas tecnologias de base microelectronica: analisis global e impactos de su incorporacion al sector metalmeccanico de Colombia, Bogota 1988.

39/ R. Tauile, Erber : Machine tools in Latin America, ONUDI, 1990.

40/ Korea Institute for Economics and Technology: Mecatronics 1989 dans Judet : L'industrie de la machine-outil en Corée, ONUDI, 1990.

41/ OADI : The development of machine tool industry in Arab countries, 1987.

42/ Organisation arabe de développement industriel : The development of machine tool industry in Arab countries, 1987 et Le secteur de la machine-outil en Algérie et Tunisie par A. Chelbi, ONUDI, 1990.

43/ Données tirées du projet DP/CPR/89/017/A/01/37 de l'ONUDI.

44/ Déclaration de Bessant à la réunion d'experts internationaux sur un programme d'automatisation industrielle du secteur des biens d'équipement en Amérique latine.

45/ Dans Seminar on CIM (séminaire sur la FIO) de la Commission économique de l'Europe, Sofia, septembre 1989.

46/ S. Sipos et H. Sitarska : "Technological and organizational change: a challenge to Eastern Europe", IDS Bulletin 1989, vol 20, N° 4.

47/ R. Jaikumar : Post-industrial manufacturing, Harvard Business Review, novembre-décembre 1986.

48/ Nissan a mis au point sa propre version de fabrication intégrée par ordinateur pour son nouveau modèle de voiture de luxe, l'Infiniti. Dénommé IBAS (intelligent body assembly system), ce système repère les problèmes et donne des instructions sur les réparations à effectuer. Cette société prévoit de construire des systèmes similaires dans ses usines à l'étranger (Fortune: Japan capital's spending spree, 9 avril 1990).

49/ K.H. Ebel : L'usine automatisée a besoin de la main de l'homme. Revue internationale du Travail, 5/1989, Genève.

50/ Rapport spécial sur la formation, American Machinist, juin 1989.

51/ Cohen, Zysman : "US competitiveness suffers: the emergence of a manufacturing gap" dans Transatlantic perspectives, Washington, automne 1988.

52/ M. Fransman : Machinery and Economic Development Mac Millan 1986.

53/ Voir ONUDI : Industrie et développement dans le monde. Rapport, 1989/1990.

54/ Ce seuil, calculé à l'aide des statistiques disponibles, devrait être considéré comme très approximatif.

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

56/ Financial Times: "Life yet in French machine tools", 8 novembre 1990; Les regroupements opérés en France (comme Machines françaises lourdes) et au Royaume-Uni (Alfred Herbert) n'ont jamais réussi.

57/ K. Hoffman : "Technological advance and organizational innovation in the engineering industry", Industry and Energy Department working paper, Industry series paper N° 4, la Banque mondiale, mars 1989.

58/ Electronics Korea, septembre 1989.

59/ Chudnowski et Groisman, 1987.

60/ R.R. Lima : "Implementing the Just in Time production system in the Brazilian car component industry", IDS Bulletin 1989, vol. 20, N° 4 1989, p. 14 à 18.

61/ UNIDO : New technologies and global industrialization, prospects for developing countries, Regional and Country Studies Branche, Industrial Policy and perspectives division PPD.141, novembre 1989.

62/ Par suite des mesures de libéralisation des importations prises dans un nombre croissant de pays, les industries mécaniques locales sont maintenant exposées à la concurrence étrangère.

63/ In John Bessant and Howard Rush: Integrated manufacturing Technology Trends, Série N° 8 IPCT. 70, ONUDI octobre 1988.

64/ Bessant Integrated Manufacturing, ONUDI 1987.

65/ Final Report of the Meeting of International Experts on a Programme for Industrial Automation in the Capital Goods Industry of Latin America, Vienna, 27-28 november 1989, UNIDO, and also K. Hoffman: "Technological advance and organizational innovation in the engineering industry", Industry and Energy Department Working Paper, Industries Series Paper N° 4, The World Bank.

66/ Comme il a été préconisé par les participants à la réunion du Groupe d'experts sur l'automation industrielle (ONUUDI, novembre 1989).

67/ Concept qui a été avancé par UNIDO/DIO/ENG dans un vaste projet de machines-outils en cours d'exécution en Chine.

68/ Dans ces deux pays, l'existence d'un vaste réseau d'entreprises de sous-traitance paraît en rapport avec le niveau élevé de diffusion de la machine-outil à commande numérique (voir II).

69/ K.H. Ebel : Computer integrated manufacturing, the social dimension, ILO 1990.

70/ Sans oublier toutefois qu'une plus grande compétence est attendue du personnel de réparation et d'entretien.

71/ Dans le cas d'un atelier équipé de machines classiques, une machine peut être remplacée par une autre, alors que la machine à commande numérique pourra constituer tout l'équipement.

72/ P. Padilla : "Amélioration de la productivité d'exploitation des centres d'usinage et de tournage", CETIM information N° 108, décembre 1988.

73/ Coopération entre le Maroc, la Tunisie et un fabricant français, C3M, pour la production de machines-outils classiques (travail des métaux et travail du bois).

74/ TOYOTA dans le cas de certains pays de l'ANASE (Malaisie, Philippines et Thaïlande).

75/ Dans le contexte de la restructuration des établissements de formation qui mettra l'accent sur l'emploi des machines-outils à commande numérique, le Ministère de l'éducation et le Ministère de la coopération ont établi un plan pour transférer des machines-outils classiques dans les écoles professionnelles africaines (Le Monde, 27 février 1990).