

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI

MAÎTRISE EN GESTION DES PMO

PROCESSUS DECISIONNEL D'ACQUISITION DE ROBOT ET DE C.A.O./ F.A.O.

PAR

DANIELLE GAGNON



Mise en garde/Advice

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

RÉSUMÉ

Le sujet de cette recherche-action est la décision financière d'acquisition d'un robot industriel ou d'un C.A.O./ F.A.O. (conception assistée par ordinateur / fabrication assistée par ordinateur).

L'objectif est de développer un outil financier (processus décisionnel) supportant la prise de décision de l'entrepreneur qui veut s'automatiser dans le cadre d'une PME.

La méthodologie employée pour atteindre cet objectif est l'hypothèse exploratoire. En combinant la théorie financière et la théorie de la robotique, nous avons établi un modèle décisionnel enrichissant une publication de Gérald Fleisher et vérifié auprès d'entreprises du Québec qui se sont récemment automatisées.

La quête de données et l'analyse des résultats nous ont permis de préciser le processus d'évaluation de l'acquisition. Cette recherche a dégagé un processus général d'acquisition qui incorpore le domaine technique du bien à acquérir au processus managérial du gestionnaire.

REMERCIEMENTS

Au Canada, la robotique étant un domaine nouveau et peu exploité, la littérature et l'information disponible sont assez rare. Ma participation à certains colloques, ainsi que plusieurs contacts établis par des professeurs et personnes oeuvrant dans le domaine, m'ont permis de trouver beaucoup d'informations récentes et, par le fait même, donnent un caractère appliqué à ma recherche. Cette démarche m'a également permis d'établir des liens avec certains réseaux d'informations technologiques extérieur à la région. Ma recherche s'est donc effectuée avec l'aide de plusieurs personnes que j'aimerais remercier:

- Mon directeur de thèse, M. Richard Benoit,
 - M. Raymond Auger pour son appui technique et certains contacts indispensables,
 - Yves Gendron et Gérald Turp de l'Association C.A.O./F.A.O et les membres qui ont répondu au questionnaire,
 - M. Michel Girard et M. Denis Rivard de Génivel,
 - M. Ralf Mullen, directeur de l'électrotechnique
- et plusieurs autres personnes qui m'ont fait parvenir de l'information ou qui m'ont aidé de différentes façons.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	i
TABLE DES MATIÈRES	ii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I ÉTAT DE LA QUESTION DE RECHERCHE.....	2
1.1 État de la question.....	3
1.1.1 Situation des technologies de production dans le monde.....	3
1.1.2 La robotique au Japon.....	6
1.1.3 Le développement de la robotique aux États-Unis	7
1.1.4 Situation canadienne.....	8
1.1.5 Le Québec et l'Ontario.....	9
1.1.6 Libre échange et technidustrie 89	12
1.1.7 Programmes gouvernementaux	15
1.2 La problématique.....	17
1.2.1 Thème général.....	17
1.2.2 Problème général.....	17
1.2.3 Question générale	18
1.2.4 Problème spécifique	18
1.2.5 Question spécifique	19
1.3 Objectif	19
1.4 La méthode utilisée.....	19
1.5 L'aspect original de la recherche	20

CHAPITRE II LA ROBOTIQUE	21
2.1 Différence entre automatisation et robotique	22
2.2 Définition de base	23
2.3 Technologie de fine pointe	25
2.3.1 L'intelligence artificielle.....	26
2.3.2 Les systèmes de C.F.A.O.	27
2.4 Le robot industriel.....	28
2.5 Approche technique et caractéristique du robot.....	31
2.5.1 Système de conduite.....	31
2.5.2 Système de contrôle et performance dynamique	33
2.5.3 Exactitude du mouvement.....	34
2.5.4 Conformité et instrument final du robot.....	36
2.5.5 L'équipement sensoriel.....	37
2.6 Les utilisations du robot.....	40
2.7 Programmation du robot	40
2.8 Conclusion.....	41
CHAPITRE III FONDEMENTS THÉORIQUES DU MODÈLE DÉCISIONNEL	42
3.1 Revue de littérature.....	43
3.1.1 Introduction.....	43
3.1.2 Revue de littérature fait à l'aide des articles spécifiés.....	43
3.1.3 Discussion	64

3.2 L'entreprise comme un système.....	64
3.2.1 Système général de l'entreprise	64
3.2.2 Système financier	66
3.3 L'environnement financier de l'entreprise.....	68
3.3.1 L'environnement économique de n'importe quelle entreprise	68
3.3.2 Environnement de l'entreprise.....	68
3.4 Le système financier comme processus décisionnel	69
3.4.1 La finance comme critère décisionnel à l'acquisition d'un robot.....	69
3.4.1.1 Hypothèse de départ.....	70
3.4.1.2 Marché parfait	70
3.4.1.3 Contexte de certitude.....	71
3.4.1.4. Objectif de l'entreprise.....	71
3.4.1.5 Théorème de la séparation.....	72
3.4.2 Critères d'investissement	73
3.4.2.1 Introduction.....	73
3.4.2.2 Le délai de récupération	74
3.4.2.3 La valeur actuelle nette (V.A.N.).....	75
3.4.2.4 C.R. (Capital Recovery Cost)	76
3.5 Le taux d'actualisation théorique	77
3.5.1 Séparation de la décision d'investissement et celle du financement	77
3.5.2 Estimation du taux d'actualisation (théorique).....	78
3.5.2.1 Introduction.....	78
3.5.2.2 Coût de capital.....	78
3.5.2.3 Les différentes méthodes d'estimation.....	81

3.5.2.3.1 Le Modèle d'évaluation des actifs financiers (C.A.P.M.).....	81
3.5.2.3.2 Catégories de projet.....	82
3.5.2.3.3 Le coût du capital pondéré	83
3.5.2.4 Le coût d'opportunité.....	85
3.5.2.5 Le coût de financement du projet.....	85
3.5.2.6 Conclusion.....	85
CHAPITRE IV PROCESSUS DÉCISIONNEL	86
4.1 Introduction.....	87
4.2 Hypothèse.....	87
4.3 Équation	88
4.4 Tableaux des coûts.....	88
4.4.1 Tableau des coûts A	89
4.4.2 Tableau des coûts B	90
4.4.3 Tableau des coûts C	91
4.5 Tableaux des apports	92
4.5.1 Tableau des apports 1	92
4.5.2 Tableau des apports 2	92
4.5.3 Tableau des apports 3	93
4.6 Amortissement.....	93

CHAPITRE V VÉRIFICATION DU PROCESSUS DÉCISIONNEL	95
5.1 Méthode utilisée	96
5.2 Plan d'analyse expérimentale	96
5.3 Analyse des éléments rejetés et ajoutés	98
5.4 Le modèle final	101
5.5 Explication des éléments	105
CONCLUSION	107
BIBLIOGRAPHIE	111
Annexe W Questionnaire	114
Annexe X Résultats obtenus.....	123
Annexe Y Résultats compilés.....	129
Annexe Z.1 L'entreprise comme système intégré	135
Annexe Z.2 Décision d'investissement en contexte canadien.....	139

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Comparaison internationale de l'utilisation des robots dans le secteur manufacturier	5
Tableau 2 Répartition des M.O.C.N. selon la taille des entreprises utilisatrices	11
Tableau des coûts A	89
Tableau des coûts B	90
Tableau des coûts C	91
Tableau des apports 1	92
Tableau des apports 2	92
Tableau des apports 3	93

INTRODUCTION

L'accélération des progrès technologiques change continuellement notre façon de vivre. C'est pourquoi, l'innovation et les transferts technologiques sont devenus des phénomènes en expansion dans l'entreprise.

Au Canada, l'intégration d'automatismes est lente. Les études gouvernementales faites jusqu'ici soulignent un énorme retard par rapport à un certain nombre de pays industrialisés dans la mise au point et l'utilisation de nouvelles technologies.

Le libre échange a accéléré le virage technologique en ouvrant les marchés à une compétition nationale et internationale très forte forçant le Canada à s'adapter rapidement à la nouvelle technologie.

Notre travail se concentrera dans un premier temps sur la problématique de l'intégration canadienne et québécoise d'automatismes de fine pointe. En second lieu, nous définirons la robotique. Puis, nous établirons l'état des recherches antérieures pour l'acquisition de robot et présenterons la théorie fondamentale à la décision financière nécessaire à la mise en place d'un processus d'acquisition de robot. Finalement, nous établirons ce processus décisionnel et le vérifierons auprès d'entreprises récemment robotisées. Nous rendrons ce processus disponible aux entreprises par l'intermédiaire d'organismes.

CHAPITRE I

ÉTAT DE LA QUESTION DE RECHERCHE

1.1 ÉTAT DE LA QUESTION

Afin de bien mettre en évidence l'utilisation québécoise et canadienne du robot industriel, nous allons décrire brièvement le contexte mondial de l'activité robotique, aborder une brève description de l'historique japonais, du développement robotique aux États-Unis ainsi que de la situation canadienne. Nous allons également présenter le contexte du Québec et de l'Ontario, pour ensuite, souligner les besoins et les aides pour le développement des entreprises québécoise.

Dans une deuxième partie, nous traiterons de la problématique qui nous conduira à notre question de recherche.

1.1.1 Situation des technologies de production dans le monde

Afin de compenser le coût des matières premières et de la main-d'œuvre, certains pays moins avantageux sur le plan des richesses naturelles ont dû réorienter leur stratégie de production. Le Japon, la Suède et l'Allemagne de l'Ouest ont mis au point et perfectionné des technologies de production afin d'assurer leur compétitivité mondiale¹.

Depuis une quinzaine d'année ces pays connaissent un bon développement économique. Leur orientation technologique ainsi que des méthodes efficaces de gestion des ressources humaines ont contribué à cet essor.

Les grandes entreprises des principaux pays producteurs, dont les États-Unis, ont tendance à mettre en commun certaines capacités d'innovation, de recherche, de fabrication et

¹ Gouvernement du Québec, l'automatisation industrielle, une obligation autant qu'un défi, 1986

de mise en marché à l'échelle internationale. Ces regroupements ont d'ailleurs incité certaines entreprises américaines reconnues à acheter des robots japonais peu dispendieux et à se consacrer davantage à la réalisation de systèmes robotiques opérationnels, à l'intelligence artificielle et à la reconnaissance de formes.

Ce tableau illustre bien le contexte mondial de l'utilisation du robot.

TABLEAU 1

**Comparaison internationale de l'utilisation des robots dans
le secteur manufacturier**
Principaux pays industrialisés (janvier 1984)¹

PAYS	N.DE ROBOTS EN UTILISATION	EMPLOI MANUFACTURIER (000)	ROBOTS PAR 10 000 EMPLOIS
Japon	45 000	14 010	32,1
Suède	1 900	941	20,2
Allemagne de l'Ouest	4 800	6 652	7,2
Tchécoslovaquie	1 845	2 554	7,2
France	3 592	5 172	6,9
Belgique	514	872	5,9
États-Unis	9 400	19 946	4,7
Italie	2 000	5 117	3,9
Canada	702	1 886	3,7
Royaume-Uni	1 753	5 641	3,1

¹ Les PME au Québec: État de la situation, Rapport du ministre délégué aux PME, 1987

1.1.2 La robotique au Japon

L'industrie japonaise occupe sans conteste le premier rang mondial pour l'utilisation des robots industriels. Selon les auteurs de la publication "L'avenir de la robotique", il ne faut pas prendre au pied de la lettre les statistiques diffusées par les industries japonaises qui s'appuient sur des définitions trop extensives de la notion de robots¹.

On peut confirmer que la robotique japonaise diffère beaucoup de la robotique des États-Unis car le développement des robots au Japon est un objectif prioritaire de la stratégie industrielle nationale, laquelle est orientée systématiquement vers l'accroissement de la productivité.

Voici un bref historique de l'évolution de la robotique au Japon:

Avant 1960	Les États-Unis dominent seuls le marché mondial.
1960	Au Japon, la robotique est appliquée au textile.
1968	Le Japon commence à produire sous licence américaine ses premiers robots (accords de Kawasaki avec Unimation)
1970	Les téléviseurs couleurs et les téléviseurs portatifs qui font leurs apparitions.
1975	Le Japon commence à exporter des produits et du savoir-faire, notamment grâce à des accords commerciaux avec les entreprises allemandes et

¹ Lasfargue, Yves, l'avenir de la robotique, les éditions d'organisation, 1982

italiennes; accords Fujitsu Fanuc/Siemers d'abord, puis avec Unimation, enfin avec Comeau en Italie et Sciaky en France.

- 1980 La production de robots industriels a été de 19 000 robots, ce qui veut dire 35% de plus par rapport à l'année précédente. Jusque là, le Japon exporte 3% de sa production.
- 1981 Hitachi a exportée 150 robots aux États-Unis soit 40% de sa production.
- 1984 Premier en nombre de robots installés (pour tous les secteurs économiques).
- 1986 150 000 robots installés pour le Japon à lui seul. Les premières usines sans ouvriers de Toyota, à Aichi y atteignaient leur plein rendement¹.

Le Japon a l'avantage d'être situé au sud-est asiatique, une aire où la population croît rapidement et a le désavantage d'être éloigné des Etats-Unis. Ceci défavorise leur capacité concurrentielle en limitant le service et support des robots exportés aux Etats-Unis

1.1.3 Le développement de la robotique aux États-Unis

Les États-Unis sont les deuxièmes utilisateurs de robots après le Japon, mais les premiers producteurs de robots dans le monde. Les entreprises qui se partagent le marché sont Unimation et Cincinnati Milacron.

¹ Kafriksen, Edward, Stephans, Mark, Industrial robots and robotics, Reston, 1984

Le développement de la robotique aux États-Unis est caractérisé par deux phénomènes:

A. Une grande partie de la recherche industrielle est orientée vers la maîtrise des opérations d'assemblage; recherche sur les capteurs (capteurs de proximité à infra-rouge et caméras-vidéo) et sur les langages de programmation.

B. L'organisation de grands projets pluridimensionnels. Ainsi le programme I.C.A.M. permet la participation conjointe de quatre grands constructeurs aéronautiques: Général Dynamics, McDonald Douglas, Lockheed et Boing (instructeur de robots et M.O. ainsi qu'entreprise de logiciel)

Il existe un programme de collaboration entre Général Motors et Unimation.

1.1.4 Situation canadienne

Au Canada, l'intégration d'automatismes est très lente. L'an dernier encore, le gouvernement canadien craignait que l'automatisation ne puisse avoir lieu considérant le rythme trop lent de la diffusion et de l'intégration de la technologie de fine pointe. Les études gouvernementales faites jusqu'ici soulignent cet énorme retard mais aussi le point de vue très préoccupant qu'est celui du peu d'efficacité des machines employées actuellement. En dernière analyse, ce n'est pas le nombre de machines qui importe mais l'efficacité avec laquelle elles sont employées¹. Une étude récente montre que la gestion des technologies

¹ Kafriksen, Edward, Stephans, Mark, Industrial robots and robotics, Reston, 1984

micro-électroniques aux États-Unis est beaucoup moins efficace qu'au Japon et c'est également ce qui se passe au Canada¹.

Le Canada marque par contre des points en matière de progrès technologiques notamment dans les télécommunications, les grands travaux d'ingénierie, l'agriculture et l'exploitation forestière. En outre, bon nombre de manufacturières ont mis en place des systèmes micro-électroniques très perfectionnés.

1.1.5 Le Québec et l'Ontario

En 1985, il y avait entre 1 100 et 1 200 robots installés au Canada, dont un peu moins de 1 000 en Ontario et environ 120 au Québec. Selon l'étude du gouvernement Ontarien, la répartition des robots canadiens par secteur d'activités économiques s'établissait comme suit en 1984².

- Industrie des véhicules automobiles et pièces.	69,1%
- Autres industries manufacturières	20,7%
- Autres organismes (enseignement, gouvernement)	10,2%

Si on exclut l'industrie de l'automobile, l'Ontario comptait en 1985 environ 175 robots dans le secteur manufacturier auxquels on devrait ajouter une centaine d'autres robots qui sont utilisés par des organismes gouvernementaux, des établissements de recherche et d'enseignement, etc... soit entre 275 et 300 robots en tout.

¹ Kafriissen, Edward, Stephans, Mark, *Industrial robots and robotics*, Reston, 1984

² Les PME au Québec:État de la situation,déjà cité, 1987, p.180-81

D'après les données du CRIQ, on retrouvait au Québec 122 robots en 1985, situés dans les types d'organismes suivants¹:

-Secteurs industrielles	75 robots
-Instituts de recherche ou de développement	29 robots
-Établissements d'enseignement	18 robots

Même en faisant abstraction de l'industrie automobile, on constate donc un retard important du Québec par rapport à l'Ontario en ce qui a trait à la robotisation. Cette province compte encore de deux à trois fois plus de robots que le Québec, même en excluant l'industrie automobile.

Le Québec compte une proportion de petites entreprises plus fortes que l'Ontario et il nous semble normal que cela entraîne un taux de pénétration plus faible d'équipements hautement sophistiqués et dispendieux.

¹ Les PME au Québec:État de la situation,déjà cité,1987, p.180-81

TABLEAU 2

**RÉPARTITION DES MOCN SELON LA TAILLE DES ENTREPRISES
UTILISATRICES
ONTARIO, QUÉBEC, 1984**

Taille des entreprises	Ontario¹		Québec²	
	% des entreprises	% des MOCN*	% des entreprises	% des MOCN
Petites entreprises (moins de 100 employés)	55	36	68,4	42,7
Moyennes entreprises (100 à 499 employés)	19	21	20,5	20,6
Grandes entreprises (500 employés et plus)	26	43	11,1	34,7
	100	100	100,0	100,0

*MOCN: Machine outil commande numérique

¹ Ontario Ministry of Industry, Trade and technology, Innovation and Technology Division, The Market for Flexible Automation Equipment, November, 1985.

² Direction des études sectorielles, DGRP, MIC. Le secteur de la Machinerie et du travail du métal au Québec: importance économique analyse comparative. Enquête sur les équipements de production de l'industrie québécoise du travail du métal, Direction des biens d'équipement, MIC.

1.1.6 Libre échange et technidustrie 89

Un élément nouveau s'est ajouté en 1989 au contexte économique du pays: le libre-échange. Ce nouveau paramètre devrait forcer les industries à prendre le virage technologique qui était prévu d'ici cinq ou dix ans.

Au mois de mars 1989 se tenait, sous le thème de l'automatisation industrielle au Québec et le libre-échange, le congrès technidustrie 89 au Palais des congrès de Montréal. Ce colloque a réuni des initiés et spécialistes oeuvrant dans différents secteurs d'activités commerciales et industrielles. Les communications des différents spécialistes à ce colloque ont présenté plusieurs éléments pertinents à notre problématique.

Selon Bernard Landry, professeur au département des sciences administratives de l'UQAM et ancien ministre provincial,

"l'entrée en vigueur progressive de l'accord du libre-échange avec les États-Unis et la consolidation économique de l'Europe par la mise en œuvre de l'acte unique devraient provoquer un changement en profondeur dans la mentalité des producteurs québécois. *Travailler sur l'Europe et l'Amérique* ce qui devrait devenir la règle pour l'industrie impliquera la desserte d'un marché d'un demi-milliard d'êtres humains. La concurrence sera évidemment proportionnelle à la taille du marché. Dans une gestion serrée au service d'un appareil de production hautement technique, même la survie deviendra périlleuse. Plus que jamais, nous devons mériter notre niveau de vie et utiliser tous les procédés modernes pour le maintenir et l'augmenter"

Pour Monsieur Pierre Ypperciel, vice-président et directeur général AMC,

"Le défi du libre-échange est de saisir les opportunités offertes par le marché le plus important au monde, tant par son nombre d'acheteurs que par leur immense pouvoir d'achat. Cela suppose que nous sommes disposés à parier sur l'automatisation de nos industries et à miser sur les technologies de pointe."

Monsieur Richard Gendron, le coordonnateur aux méthodes statistiques Camoplast Inc. affirmait que:

"Avant de procéder à toute automatisation, il est essentiel de repenser l'environnement du procédé et de recourir à une phase de simplification. La méthode SMED consiste à réaliser un changement du moule en moins de 10 minutes. Dans un projet pilote à la division Lasalle de Camoplast, on a pu, avant même de recourir à une technologie dite avancée, faire passer les temps de changements de moule de 160 à 9 minutes tout en améliorant la qualité des pièces produites."

Monsieur Bessin Bessein, ingénieur-conseil, B.Bessein et Ass.Inc. mentionnait que:

"L'évolution du marché nord-américain du vêtement exige des fabricants des produits diversifiés de qualité ainsi qu'une grande créativité. Pour faire face à cette demande, les fabricants se trouvent à réviser leurs systèmes de gestion, leur technologie de production et la culture industrielle des travailleurs pour avoir une bonne qualité, une flexibilité et un cycle rapide de production d'où vient la nécessité de l'information et la formation des ressources humaines."

Depuis le début de l'année 1989, le virage technologique s'est amorcé rapidement. Voici d'ailleurs quelques exemples de témoignages des quelques cinquante conférenciers participant au colloque.

"Un des plus vieux procédés de transformations des thermoplastiques, l'extrusion fait actuellement face à un virage technologique. Plastiques Bovac Ltée a implanté un programme d'automatisation pour la fabrication de sa matière première, le PVC. En opération depuis un an, le nouveau système a permis un gain de 20% en productivité et une réduction notable des pertes de matériel."¹

¹ Jean Mailloux, directeur technique de Plastiques Bovac Ltée

"Pour une petite compagnie, l'acquisition d'un système CAO/FAO ne se fait pas sans d'abord soulever une foule de questions sur sa justification et sans semer le doute sur son apport au rendement global des opérations. Les Moules R.I.F. Inc (17 employés), fabricant de moules à chaussures a traversé cette phase d'interrogations et quelques mois après l'achat d'un premier système CAO/FAO, il s'en procurait un deuxième. Résultat: Il s'est hissé aux premiers rangs des moulistes de la chaussure."¹

"MKS a intégré depuis près d'un an des logiciels de conception d'armoires de cuisines assistée par ordinateur et d'optimisation de l'ordonnancement. De plus, MKS vient de compléter l'installation de plusieurs machines à contrôle numérique, de stations et de concentrateurs de lecteurs de code de bâtonnet (barcode). Ces activités, combinées à une attitude presque obsédée du concept de "juste à temps" a permis à MKS d'atteindre des gains de productivité de plus de 10% et de réduire les pertes de panneaux bruts de près de 50% en quelques mois seulement. Et ce n'est qu'un début..."²

¹ Ignacio Ruiz, président de Les Moules R.I.F. Inc

² Luc Larocque, adjoint au président, Groupe MKS Inc

1.1.7 Programmes gouvernementaux

Pour une petite ou moyenne entreprise, l'information, l'expertise et le financement qui permettraient un tel changement technologique, n'est pas évident. C'est pourquoi certains programmes gouvernementaux ont été créés.

Les gouvernements, provincial et fédéral, sont bien conscients de la situation actuelle et c'est pourquoi ceux-ci s'impliquent par le biais de différents programmes d'information et d'aide financière.

Le message du ministre de l'industrie et du commerce et de la technologie, M. Pierre Macdonald mentionnait que

"le colloque témoignait d'un effort de concertation grandissant entre tous les partenaires impliqués avec notre Ministère dans le développement industriel du Québec. La participation active de nos gens d'affaires à l'ensemble des activités inscrites au programme les sensibilisera aux nombreux avantages que procure l'implantation progressive d'automatismes industriels dans leurs entreprises face à la mondialisation des marchés."

Le message du ministre délégué à l'industrie, aux sciences et à la technologie, M. Harvie André affirmait que

"le gouvernement canadien est fier de s'associer à la tenue de technidustrie 89. Cet important événement contribuera à la prise de conscience et à la mise en application, dans l'industrie canadienne, de technologies récentes et performantes de production. Cette rencontre cadre particulièrement bien avec les objectifs du gouvernement canadien visant à améliorer le niveau compétitif de nos entreprises tant au pays qu'à l'échelle internationale."

Selon le Ministère de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie (MICT), l'internationalisation des marchés a gagné le secteur de la fabrication des moyens de production; dans ce contexte, les entreprises québécoises doivent produire et vendre des

produits de qualité qui satisfont les exigences de diverses clientèles. Elles doivent donc se doter de modes de fabrications fiables, plus productifs et plus économiques en vue d'améliorer leurs produits, leurs concepts de fabrication et d'optimiser l'utilisation de leurs matières premières. C'est dire que l'amélioration de la capacité concurrentielle de plusieurs secteurs de la fabrication au Québec passe par l'introduction progressive d'automatismes.

Voici les divers outils d'information;

- documents audiovisuels,
- répertoire des sources d'information sur l'automatisation industrielle,
- documents relatifs à l'automatisation,
- séminaire de formation portant sur l'automatisation industrielle
- des programmes dont le programme d'aide à la concrétisation de projets industriels (PACPI) qui offre une subvention allant jusqu'à 50% (maximum de 50 000\$) du coût d'une étude de faisabilité relié à l'automatisation. Par contre, l'aide maximale de ce ministère atteint 25% du coût total.

La SDI (Société de Développement Industriel), pour sa part, est disposée à injecter jusqu'à 30% du montant de l'investissement sous forme de capital.

1.2 LA PROBLÉMATIQUE

1.2.1 Thème général

L'Intégration de nouvelles technologies tel la robotisation est maintenant rendue essentielle à la stratégie de gestion des entreprises qui veulent démarrer, survivre ou se développer dans l'économie canadienne. Par contre, cette intégration nécessite des connaissances et une évaluation objective qui sont indispensables aux attentes et rendements désirés. Le fait que l'automatisation flexible dans l'entreprise canadienne et québécoise soit à un faible niveau limite notre expertise. De plus, le domaine de la technologie de fine pointe est un domaine complexe et en évolution rapide ce qui en rend l'accessibilité encore plus difficile. Tous ces facteurs alourdissent le processus décisionnel pour l'entrepreneur qui désire s'automatiser dans cet environnement quasi-inconnu et dont les paramètres essentiels sont fournis par le vendeur. Le processus décisionnel est donc actuellement sans structures formelles pour ces investissements qui nécessitent des sommes importantes et qui peuvent générer un impact économique significatif sur l'entreprise.

1.2.2 Problème général

Les différentes recherches effectuées à l'aide de plusieurs banques de données nous ont permis d'identifier une dizaine d'articles connexes au sujet ainsi que la synthèse d'une thèse californienne ayant trait à la décision d'acquisition de robots. Cette quasi-absence de modèle souligne la nécessité d'effectuer des recherches qui pourraient rendre la décision d'acquisition et d'implantation d'instruments de production de haute technologie la plus optimale possible pour l'entrepreneur.

1.2.3 Question générale

La plupart des grosses entreprises ont probablement l'expertise nécessaire à une analyse économique structurée et appropriée. Pour ce qui est de la petite et moyenne entreprise, elle ne dispose pas toujours de l'expertise qui serait la plus pertinente à leur décision. L'opinion de H. Simon sur la rationalité limitée, tirée d'un résumé fait par M. Greffe (1983), met en relief le côté humain de la décision.

"L'administrateur ne décide pas mécaniquement d'une combinaison de moyens pour maximiser des objectifs clairs et simples. Il cherche plutôt face à la multitude et à l'imprécision des variables et des comportements, à choisir quelques actions satisfaisantes et assez bonnes, à s'abstraire de la complexité du monde réel pour se décider en fonction des éléments qui lui apparaîtront les plus pertinents...La décision relevra autant de la réaction que du calcul conscient et on ne prendra jamais en considération la totalité des valeurs en question."¹

Cette vision est bien entendu plus élaborée mais cette facette est suffisamment complète pour décrire le phénomène rencontré.

1.2.4 Problème spécifique

Afin de construire une base au processus décisionnel, nous allons importer des modèles de d'autres sciences. A l'aide de la théorie financière ainsi que de la théorie de robotisation, nous allons établir la modélisation théorique du processus d'acquisition.

¹ Greffe, X., Préface à l'administration et processus de décision de H. Simon, Economica, 1983.

1.2.5 Question spécifique

Le modèle décisionnel, élaboré à l'aide de théories et d'expertises, sera vérifié auprès de différentes entreprises qui ont eu à s'automatiser récemment. Afin d'établir une vérification consistante du modèle décisionnel, notre question de recherche est:

Il existe un modèle décisionnel s'appliquant à la décision d'acquisition d'un robot (automatisation flexible) pour une petite ou moyenne entreprise.

1.3 OBJECTIF

L'objectif de cette recherche est d'établir un modèle décisionnel d'acquisition d'un robot industriel ou d'un C.A.O./F.A.O. pour l'entrepreneur gestionnaire qui veut s'automatiser dans le cadre d'une PME.

1.4 LA MÉTHODE UTILISÉE

Comme spécifié antérieurement, ce modèle sera établi à partir de la combinaison de deux sciences: La théorie financière et la théorie de la robotique. Nous validerons notre modèle auprès d'une entreprise qui a procédé à l'acquisition d'un robot. Une fois établi, le modèle décisionnel sera vérifié auprès de quelques entreprises qui se sont robotisées ou automatisées récemment. Suite à l'analyse des résultats, une version améliorée de notre modèle sera mis à la disposition des entrepreneurs des PME désirant évaluer le projet d'automatisation de leur entreprise.

1.5 L'ASPECT ORIGINAL DE LA RECHERCHE

La quasi-absence de littérature au niveau de la prise de décision d'acquisition d'un robot démontre bien l'originalité de cette recherche. Avec la signature de l'entente du libre-échange, nous assistons actuellement à la naissance ainsi qu'à l'intégration accélérée de la robotique au niveau de l'entreprise canadienne et québécoise. Il nous apparaît urgent de mettre à la disposition des entrepreneurs un modèle permettant de rationnaliser le processus d'acquisition d'un robot.

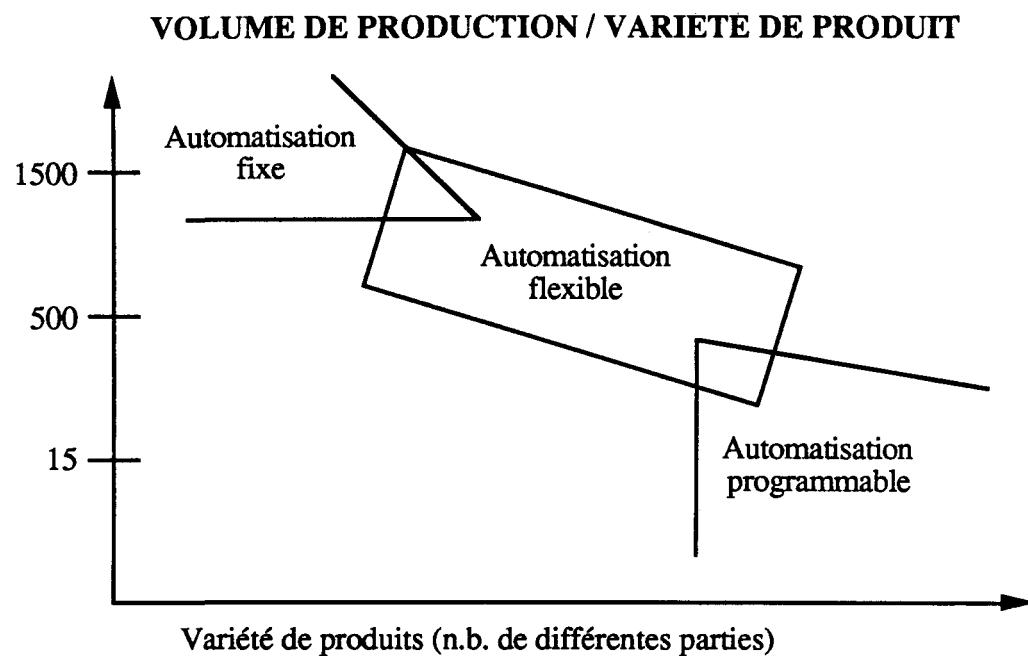
CHAPITRE II

LA ROBOTIQUE

2.1 DIFFÉRENCE ENTRE AUTOMATISATION ET ROBOTIQUE

L'automatisation et la robotique sont deux technologies relativement près l'une de l'autre. Selon Groover¹, dans un contexte industriel nous pouvons définir l'automatisation comme une technologie concernée par l'emploi de mécanique, d'électronique et un système d'ordinateur de base dans le contrôle de production.

Voici un schéma tiré de cette même référence:



Selon l'auteur, la robotique est l'ensemble des études et des techniques permettant l'élaboration d'automatismes capables de se substituer à l'homme dans certaines fonctions.

¹ Groover, Mikell P., industrial robotics: technology, programming and applications, McGraw-Hill, 1986

Le caractère programmable et reprogrammable de la robotique la différencie donc de l'automatisation.¹

2.2 DÉFINITION DE BASE

Afin d'expliquer de façon cohérente le fonctionnement de la nouvelle technologie, nous allons devoir définir certains éléments constituant les principes de base.

Circuit-logique: Circuit remplissant une fonction logique de base (et, ou, non, etc...) ou complexe (compteur, multiplexeur, micro-processeur) entrant dans la réalisation des systèmes numériques.

Électronique²: L'électronique est l'étude de l'électron, constituant de tous les atomes et , plus spécialement, des électrons en mouvement dans le vide, les gaz ou les "semi-conducteurs".

Circuit-intégré³: Ensemble des diodes, de résistances, de transistors intégrés sur une pastille de matériaux semi-conducteurs (en général silicium) formant une fonction électronique complexe.

¹ Groover, Mikell P., déjà cité, 1986

² Dictionnaire encyclopédique Quillet, 1962

³ Words associated et Keith Newton, un avenir à employer: un aperçu des technologies de pointe, 1986

Micro-électronique¹: Les éléments de la micro-électronique ont débuté par une taille réduite et se sont raffinés. (Des puces de silicium microscopiques sont des fils fins comme des cheveux.) Les éléments commandent des signaux électriques, les commutent, les amplifient, et leur font réaliser des opérations tout aussi complexes que le travail impliqué dans la pensée.

Micro-processeur²: Circuit intégré qui effectue les fonctions arithmétiques et logiques dans un micro-ordinateur

Intégration à grande échelle³: On grave sur une seule puce des milliers de transistors électroniques. Aujourd'hui, le perfectionnement est rendu à un million de fonctions par puce.

¹ Words associated et Keith Newton, déjà cité, 1986

² Words associated et Keith Newton, déjà cité, 1986

³ Words associated et Keith Newton, déjà cité, 1986

2.3 TECHNOLOGIE DE FINE POINTE

La technologie connaît une évolution très rapide. Celle-ci s'améliore et se perfectionne au bénéfice de la production. Afin de présenter un éventail des plus complets possibles, nous allons définir toutes les différentes technologies allant jusqu'aux plus récentes.

Système flexible de fabrication¹: Machines reliées par un système de transport et sous la commande d'un ordinateur central permettant la transformation simultanée de diverses variétés de pièces.

CNI/CND²: Commandes numériques informatiques/commandes numériques directes; liaison en passant par le réseau de transmission de données, de plusieurs machines à commander numériques à un ordinateur central de contrôle.

M.O.C.N³.: Machine-outil à commandes numériques: Équipement ou groupe d'équipements dont le fonctionnement est commandé par l'introduction directe de données sous forme numérique.

I.A.Q.⁴: Ingénierie assistée par ordinateur; la création et l'analyse informatisées de conceptions pour le contrôle d'erreurs, de performances et de coûts.

¹ Words associated et Keith Newton, déjà cité, 1986

² Words associated et Keith Newton, déjà cité, 1986

³ Lasfargue, Yves, l'avenir de la robotique, les éditions d'organisation, 1982

⁴ Words associated et Keith Newton, déjà cité, 1986

Technologie paramétrique: Outil efficace de conception qui permet au concepteur de créer un modélisateur où le changement des paramètres d'une pièce modifie automatiquement ceux des autres pièces qui lui sont reliées.

2.3.1 L'intelligence artificielle

L'intelligence artificielle est un ensemble de théories et techniques mises en oeuvre par un programme sur ordinateur afin de résoudre des problèmes sans que l'algorithme précis de résolution soit explicitement fourni. Elle comprend quatre sous-groupes fondamentaux:

A. La reconnaissance des formes.

B. La solution de problèmes complexes par des méthodes heuristiques.

C. L'apprentissage.

D. Le choix d'une stratégie.

A. La reconnaissance des formes: Lorsqu'on veut assimiler une situation complexe à une classe donnée, on lui applique un traitement. Celui-ci est appelé comportement et est de "forme abstraite"; Il correspond au comportement appliqué avec succès à une situation d'un tout autre domaine, mais dont la forme, c'est-à-dire la structure générale, appartient à la même classe. Ce processus d'identification entre elles de situations apparemment sans liens est effectivement un acte hautement intellectuel.

B. La solution de problèmes complexes par des méthodes heuristiques: Pour une trajectoire sur une surface irrégulière ne correspondant pas à une fonction mathématique. En intelligence artificielle, on procède par exploration au hasard plus ou moins tempérée par des règles non strictement logiques mais heuristiques, c'est-à-dire, ayant eu antérieurement, sans

que l'on sache trop pourquoi, un certain succès. Si on obtient pas la meilleure trajectoire, la probabilité de faire mieux que la moyenne est assez grande.

C. L'apprentissage: Ils s'agit d'enregistrer essais et erreurs et, par diverses méthodes également heuristiques, de faire un choix pour améliorer un comportement.

D. Le choix d'une stratégie: C'est dans un premier temps, l'évaluation de la position actuelle en fonction de certains critères; ceci est lié à la reconnaissance des formes. Dans un deuxième temps, faire élaborer par la machine le comportement approprié à la classe de problèmes reconnue.

2.3.2 Les systèmes de C.F.A.O.

Les systèmes de conception et fabrication assistés sur ordinateur sont des aides apportées par l'informatique dans le processus d'élaboration d'un produit industriel depuis sa conception jusqu'à sa mise en fabrication. Ces systèmes ne sont donc pas considérés comme faisant partie de la productique, puisqu'ils sont compris dans les étapes préliminaires à la production.

Le dessin assisté par ordinateur (D.A.O.): On enregistre sous forme numérique les dessins en ordinateur qui, après traitement, sont restitués sur des tables traçantes. Ceci permet de changer d'échelle et de mettre à jour ou de diffuser des plans.

La conception assistée sur ordinateur (C.A.O.): C'est la combinaison du calcul scientifique et des procédés de numération automatique des formes. On peut alors effectuer des traitements de simulation qui complètent les méthodes traditionnelles d'essai sur maquettes et prototypes. (Le système C.A.O. fournit directement le programme de la M.O.C.N..)

La fabrication assistée sur ordinateur (F.A.O.): C'est la préparation des éléments pour le service de fabrication.

Les applications sont au niveau de: La construction électrique et électronique, l'architecture et urbanisme, la mécanique, le génie civil, la confection textile, la découpe du cuir, la réalisation d'animation et de générique pour la télévision, etc...

Ordonnancement de production assistée par ordinateur: L'ordonnancement de la production constitue une discipline très récente et marque un pas majeur dans le domaine de la gestion de la production manufacturière. Mieux connue sous le terme "scheduling", ordonner la production signifie produire un calendrier optimal de l'utilisation des ressources (employés-machines) en tenant compte de toutes les contraintes inhérentes au monde manufacturier: Disponibilité des ressources de production, qualifications, délais de livraison exigés, lots intermédiaires entre les postes de travail, etc... Ces systèmes doivent permettre de réagir rapidement aux imprévus trop fréquents pour être oubliés: Bris de machinerie, absence de personnels qualifiés, commandes urgentes, etc... et générer une séquence d'opérations de laquelle émergera un temps de production minimal et une utilisation optimisée des ressources de production.

2.4 LE ROBOT INDUSTRIEL

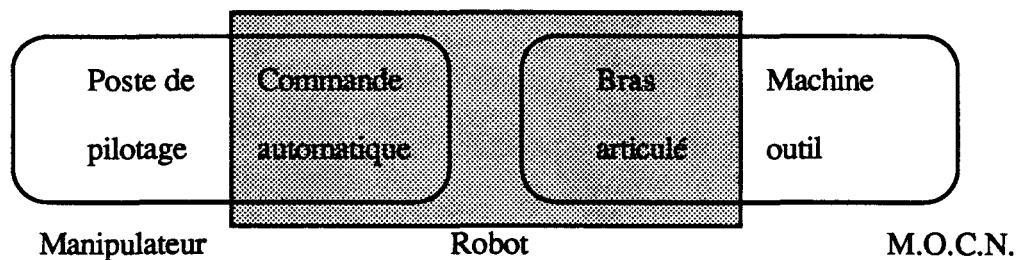
Définition:

Le robot industriel est un manipulateur multi-fonctions reprogrammable conçu pour déplacer des objets avec des gestes programmés variables afin d'accomplir diverses tâches.
(Selon l'Association des Industries de la Robotique)

Il vient d'un mariage des technologies de la mécanique de l'électricité et de l'hydraulique avec la technologie de l'informatique. Sa forme vient des tâches pour lesquelles il est conçu et il n'est pas limité à une routine donnée puisqu'il est reprogrammable.

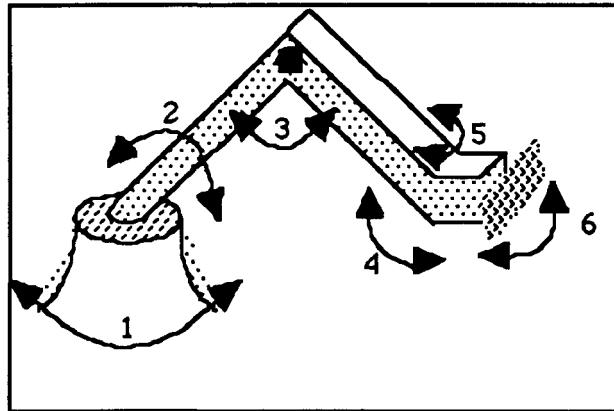
Règle générale, le robot industriel est un bras hydraulique ou électronique à base pivotante, commandé par ordinateur. Mais à toute règle, il y a exceptions. En effet, certaines statistiques sur le nombre de robots en opération, au pays, se trouvent à être établies et comparées à partir de différentes définitions de base du robot. Cette confusion est due en partie au fait que celui-ci est composé de différentes technologies empruntées à d'autres sciences.

La technologie du robot industriel¹ vient donc du télé-manipulateur (industrie nucléaire) et de la machine-outil à commande numérique (M.O.C.N.).



¹ Bouchut, Y, et autres, robotique industrielle et choix d'investissement, Presse universitaires de Lyon, 1984

La définition nord-américaine du robot demande à celui-ci de bouger selon six degrés de liberté.



- 1: Orientation du bras
- 2: Articulation d'épaule
- 3: Articulation du coude
- 4: Inclinaison
- 5: Azimut
- 6: Poignet

Le robot industriel a été breveté par G.C. Devol en 1954 aux États-Unis et le premier modèle a été fabriqué par Unimation Inc. en 1961. Les premiers robots étaient initialement utilisés pour remplacer l'homme dans les tâches dangereuses.

2.5 APPROCHE TECHNIQUE ET CARACTÉRISTIQUE DU ROBOT

Voici les différents systèmes du robot:

- système de conduite
- système de contrôle et de performance dynamique
- exactitude du mouvement
- système sensoriel

2.5.1 Système de conduite

La capacité du robot à bouger son bras ou son corps vient du système de conduite. Celui-ci détermine la vitesse du mouvement du bras, la force du robot et sa performance dynamique, et ceci dépendamment de l'application du robot. Voici trois types différents de système de conduite.

A- conduite hydraulique

B- conduite électrique

C- conduite pneumatique.

La conduite hydraulique et pneumatique sont des conduites pour des robots plus sophistiqués.

A- La conduite hydraulique est appropriée pour les gros robots qui nécessitent force et vitesse, par exemple ceux qui exécutent le "chargement-déchargement". Elle est conçue

pour le mouvement linéaire et rotationnel. Le système hydraulique prend beaucoup d'espace et tend à perdre son huile.

B- La conduite électrique (plus appropriée aux petits robots) n'est pas aussi puissante et rapide que le système hydraulique. Par contre, sa précision et sa répétition sont généralement supérieurs. Elle s'applique à l'industrie électronique. Ce système est mû par un moteur ou servo-moteur d.c.. Il peut être utilisé pour mouvoir des joints rotationnels appropriés au système d'engrenage et conduite de train. Il peut aussi être employé au joint linéaire(bras télescopique).

C- La conduite pneumatique est réservée au plus petit robot qui ne possède que quelques (1-4) degrés de liberté. Elle est souvent limitée à la simple opération "prend-place" à cycle rapide. La puissance pneumatique peut être aisément adaptée au mécanisme d'un piston dans le mouvement de translation d'un joint coulissant.

Au système de conduite, il faut rattacher le concept de vitesse-action: la capacité de vitesse du robot industriel courant atteint un maximum de 5 pi/sec. (vitesse mesurée au poignet du robot). La conduite hydraulique est d'ailleurs plus rapide que la conduite électrique. La précision nécessaire de "l'instrument final", le poids de l'objet qui sera manipulé et les "distances" qui seront parcourues (accélération-décélération sur une petite distance) sont les principaux facteurs qui limiteront la vitesse du robot (mise à part sa capacité physique).

2.5.2 Système de contrôle et performance dynamique

Pour opérer un robot doit avoir un moyen de contrôler son système de conduite afin de régulariser son mouvement. Voici quatre types de systèmes de contrôle.

A- robot à séquences limitées

B- robot à réécoute avec contrôle point à point

C- robot à réécoute avec contrôle de trajectoire continue

D- robot intelligent.

A- Le robot à séquences limitées n'emploie pas de servo-contrôle pour l'indication de la position relative des joints (tracés). Ils sont contrôlés par des limites à interruptions et/ou par des arrêts mécaniques. A chaque point, la position est établie et contrôlée. Il n'y a donc pas de rétroaction associée avec ce type de système qui indique à celui-ci si la position désirée a été obtenue. Pour ce type de système, chacune des trois conduites peut être employée. Par contre, la plus employée sera la pneumatique pour l'application "prend-place".

B-C- Les robots à réécoute avec contrôle: Pour ces types de systèmes, chaque série de positions ou de mouvements est pensée, enregistrée en mémoire et répétée par le robot sous son propre contrôle d'où le terme réécoute. Nous pouvons aussi avoir le servo-contrôle (système à rétroaction sur cercle fermé) afin que la position atteinte soit celle désirée.

Point à point: Ne contrôle pas le chemin pris par le robot pour atteindre le point suivant. (utile dans le chargement-déchargement et le soudage)

Continue: Ici le chemin suivi est contrôlé. On spécifie le point de départ et le point d'arrivée, et l'unité de contrôle calcule la séquence de points qui va permettre au robot de suivre la trajectoire d'une façon uniforme. (utile dans la soudure à arc et la peinture en spray)

D- Le robot intelligent possède la capacité non seulement de réécouter un cycle de mouvements programmés mais aussi, d'interagir avec l'environnement d'une façon intelligente. Il peut prendre des décisions logiques. Il peut communiquer avec un poste de travail ou un ordinateur pendant son cycle de travail. (utile dans les tâches d'assemblage et dans certaines opérations de soudure à arc)

La vitesse de réponse et la stabilité sont deux caractéristiques de performance dynamique qui dépendent du "design" du système de contrôle. La vitesse de réponse se réfère à la capacité du robot telle que spécifiée. Lorsque le robot a une bonne stabilité, il ne montrera qu'une petite ou une absence d'oscillation pendant ou à la fin du mouvement. Une faible stabilité est caractérisée par une importante oscillation. Le temps de réponse et la stabilité doivent être ajustés à un compromis.

2.5.3 Exactitude du mouvement

Une autre facette de la performance du robot est l'exactitude du mouvement. Nous définirons l'exactitude du mouvement en trois traits:

A- la résolution spatiale (l'augmentation du mouvement)

B- la précision

C- la capacité de répétition

A- La résolution spatiale du robot dépend de la conception de son unité de commande et de la position des capteurs sensibles aux mouvements. C'est, en fait, la distance d'un point à l'autre (augmentations) dans la trajectoire du robot. Cette distance permet au robot de séparer son volume de travail. Celle-ci dépend de deux facteurs:

A.1- le système de résolution de contrôle

A.2- l'inexactitude mécanique du mouvement

A.1- Le système de résolution de contrôle est déterminé par le système de la position du robot et par son système de mesure de la rétroaction. Il est défini comme la division de l'action totale par le nombre d'augmentations. (Celui-ci dépend du nombre de bits.)

Exemple: Mémoire de contrôle robot ayant une capacité de mémoire de 12 bits, ayant une tranche de joints avec division complète de 1,0 m et 1 degré de liberté.

n.b. d'augmentations = $2^{12} = 4096$ augmentations et $1 \text{ m} / 4096 = .000244 \text{ m} = .24 \text{ mm}$ de résolution de contrôle.

A.2- L'inexactitude mécanique du robot est due à la déflection élastique des éléments de structure et à d'autres imperfections dans le système mécanique. Celle-ci tend d'ailleurs à s'amplifier pour un robot plus gros car l'erreur est plus grande pour de plus grandes composantes. Elle peut aussi être influencée par d'autres facteurs tel la charge manipulée, la vitesse avec laquelle le bras bouge, les conditions de maintenance du robot et autres facteurs similaires.

La résolution spatiale du robot est en fait la résolution du contrôle dégradée par toutes ces inexactitudes mécaniques. Elle s'améliore donc avec l'augmentation du nombre de bits

du contrôle mémoire. En augmentant le nombre de bits, on peut augmenter l'exactitude de la résolution spatiale qui dépend, en grande partie, de l'exactitude mécanique.

B- La précision: Elle se réfère à l'habileté du robot à positionner son "instrument final" sur les points de la trajectoire prévue. Elle dépend donc de la résolution spatiale ainsi que des algorithmes de commandes. La résolution spatiale tient compte de la façon dont le robot définit l'augmentation du contrôle pour chacun des mouvements tracés. Les algorithmes de commande peuvent provoquer des erreurs en arrondissant les valeurs numériques qu'ils traitent.

C- La capacité de répétition: C'est la valeur absolue de l'écart maximum par rapport à la moyenne de la dispersion mesurée. Celle-ci recouvre donc une notion statistique associée à la précision. La capacité de répétition est généralement meilleure que sa précision car celle-ci dépend de la charge portée par le manipulateur et la capacité de répétition est pratiquement indépendante de cette charge portée.

2.5.4 Conformité et instrument final du robot

Définissons les concepts de conformité et d'instrument final.

Conformité: la conformité se réfère au déplacement du poignet ou à "l'instrument final" en réponse à une force exercée contre lui. Un robot est classé de haute conformité ou de basse conformité.

Un robot est classé de haute conformité lorsque celui-ci est relativement rigide et ne dévie pratiquement pas pour une force imposée et de basse conformité lorsque celui-ci est dévié plus facilement.

La conformité est le facteur important à considérer. Ce facteur réduit l'exactitude du mouvement lorsqu'une pression doit être fournie par "l'instrument final" /ou la main. La programmation du robot doit donc absolument en tenir compte afin d'obtenir un mouvement plus exact.

L'instrument final: C'est l'instrument spécial qui permet l'utilisation générale du robot de travailler à une application particulière. Cet instrument sera dessiné spécifiquement pour une application prévue et sera attaché au poignet du robot.

2.5.5 L'équipement sensoriel

C'est l'ensemble des capteurs qui fournissent au système de commande les informations sur l'état du robot et sur son environnement. Celui-ci traitera ces données pour assurer un bon fonctionnement de l'appareil. Il permettra d'ailleurs la coordination du robot avec les autres activités.

Employés comme mécanismes périphériques, les capteurs sensoriels sont à la fois de types simples comme les interrupteurs et de types sophistiqués comme le système de vision machine.

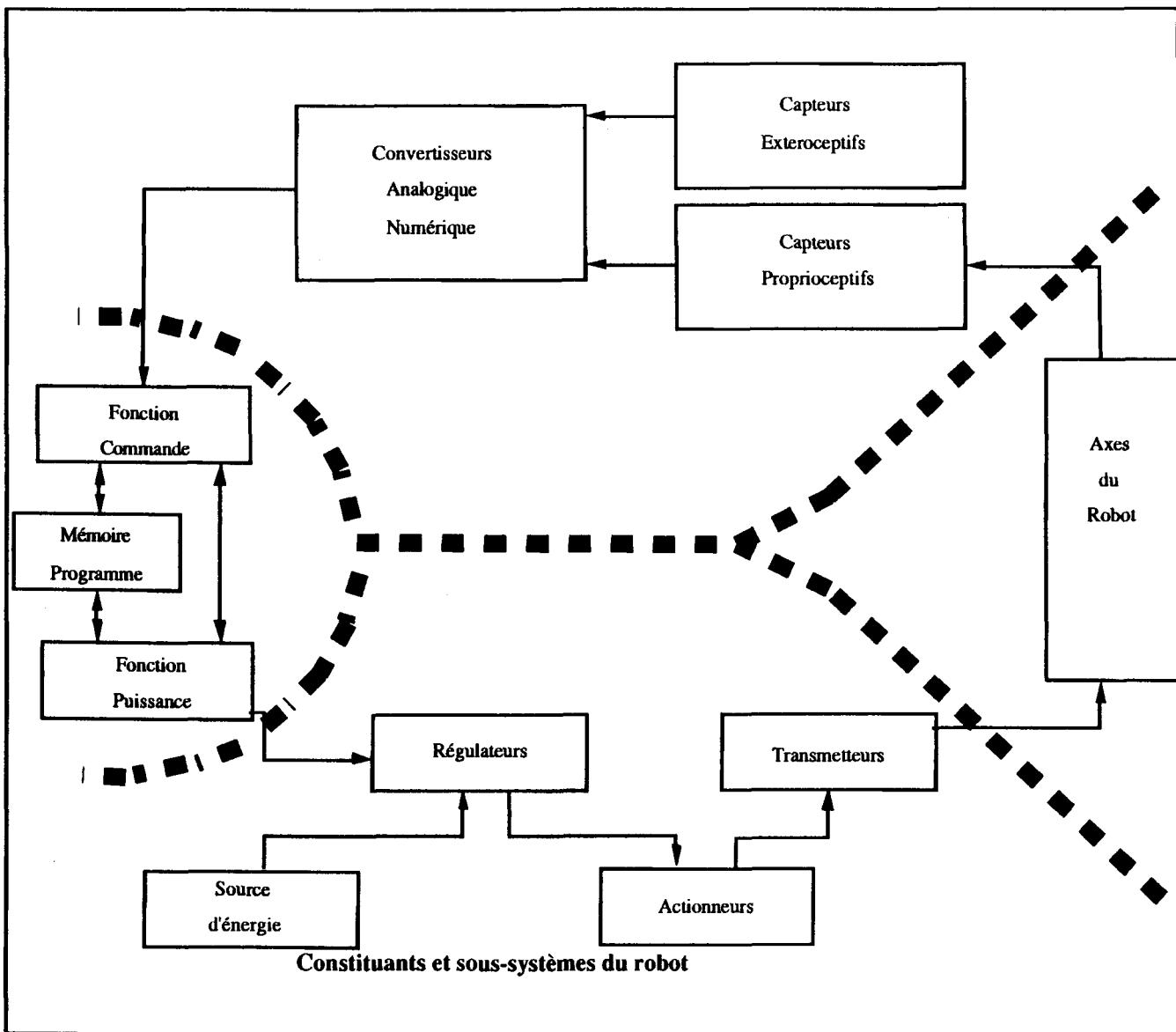
A- Les capteurs tactiles: Ils répondent à la force de contact avec un autre objet. Certains de ces mécanismes sont capables de mesurer le niveau de force confronté.

B- Les capteurs de proximité et de portée: Un capteur de proximité est un mécanisme qui indique lorsqu'un objet est près d'un autre objet mais avant qu'il y ait contact. Lorsque la distance entre les objets peut être reconnue, on l'appelle le mécanisme "de portée".

C- Autres capteurs: Inclus plusieurs sortes de capteurs employés en robotique pour détecter la température, la pression et d'autres variables.

D- Les capteurs vision-machine: C'est un système capable de voir l'espace de travail et d'interpréter ce qu'il voit.

Constituants et sous-systèmes du robot¹



¹ Bouchut, Y, et autres, déjà cité, 1984, P. 33

2.6 LES UTILISATIONS DU ROBOT

A l'Université de Wasela à Tokyo, on a conçu un robot qui joue du piano. Ceci est fait, bien entendu, dans un but pédagogique, mais montre bien l'étendue des possibilités du robot. Afin d'avoir une vue juste de l'application du robot dans l'industrie, voici les différents domaines généralement couverts par la robotique industrielle actuelle:

- l'alimentation et le déchargement des machines-outils
- la manipulation de matériel
- la soudure à arc et à point
- la peinture au pistolet
- le coupage au plasma, thermique et à jet d'eau sous pression
- l'usinage : chanfreinage (angle), ébavurage, perçage et ébarbage
- l'assemblage
- le contrôle de la qualité

2.7 PROGRAMMATION DU ROBOT

Le programme robot peut être défini comme le chemin dans l'espace que le manipulateur devra prendre. Ce chemin inclut d'autres actions comme contrôler l'instrument final et recevoir les signaux des capteurs. La programmation du robot lui enseigne donc ces actions. Il y a plusieurs méthodes de programmer un robot.

A- Programmation par simulation: En prenant la main du robot et en lui faisant exécuter le mouvement dans son entier. Cette méthode ne permet pas des gestes très précis. Ceci n'est pas exécutable pour tous les robots. Pour les bras ayant des articulations trop résistantes, nous nous servirons d'un simulateur de constitution plus frêle et manipulable, par un homme. Les positions du simulateur sont échantillonnées à une vitesse constante et mémorisées par l'ordinateur.

B- Programmation assistée par visualisation: Cette programmation est une simulation sur ordinateur. On peut d'ailleurs se servir d'une C.A.O. (Conception Assistée sur Ordinateur).

C- Programmation manuelle: Celle-ci se fait à l'aide de la console. Sa simplicité garantit une manipulation aisée par l'opérateur. On commande manuellement les mouvements du robot , axe par axe ou plusieurs axes simultanément. L'enregistrement du programme se fait point par point par introduction successive de tous les paramètres nécessaires. Tous ces paramètres et autres informations sont affichés sur l'écran. L'optimisation de la vitesse dans les pas de positionnement est effectuée par le contrôle.

2.8 CONCLUSION

Dans ce chapitre nous constatons que la technologie de fine pointe, particulièrement la robotique, est un domaine complexe et difficilement accessible à tous.

C'est pourquoi, lors d'un changement technologique dans l'entreprise, celle-ci doit se référer à des spécialistes qui étudieront toutes les possibilités avant d'arrêter leur choix.

CHAPITRE III

FONDEMENTS THÉORIQUES DU MODÈLE DÉCISIONNEL

3.1 REVUE DE LITTÉRATURE

3.1.1 Introduction

Le domaine de la robotique est un domaine peu exploité au Canada. Nous entrons présentement dans un virage technologique amorcé dans plusieurs pays depuis quelques années. C'est la raison pour laquelle les recherches liées à ce domaine au niveau décisionnel sont presque inexistantes en Amérique. Lors de la revue de la littérature, nous avons utilisé des banques de données qui donnaient accès aux universités américaines. La recherche de littérature au Japon, en Allemagne ou en Europe, aurait été d'un apport appréciable, mais comportait bien des obstacles linguistiques.

3.1.2 Revue de littérature fait à l'aide des articles spécifiés

A- Première partie: Attitudes préalables à la décision

Dans le premier article¹, on découvre qu'en 1940, un entrepreneur T. Bata a développé un système managérial supérieur: décentralisation, autonomie dans les départements mais, surtout, l'introduction de l'automatisation et de la robotique comme support à la production. La production était entièrement flexible et combinée avec des moniteurs de performances statistiques semi-automatisés.

C'est le début de l'application robotique. La machine qui remplace l'homme dans les tâches ingrates et ceci par un système cohérent et hautement performant.

¹ Zeleny, Milan. Bat'a-system of management: Managerial excellence found dans Human systems mgmt (Netherlands). v7n3, 1988. Pp 213-219

L'intégration d'innovation technologique n'est donc pas un élément récent.

L'attitude et l'ouverture d'esprit de M. Bata ont permis l'intégration d'innovations technologiques.

Le deuxième article¹ nous reporte un peu plus tard dans l'histoire avec l'orientation robotique du Japon. Cette orientation a permis aux japonais d'augmenter leur productivité, leur fournissant ainsi la clé industrielle mondiale, plus spécifiquement dans l'industrie automobile et l'industrie de l'électronique. Par leur grand intérêt dans la robotique, ceux-ci sont devenus les leaders actuels de l'automatisation. Ils utilisent aussi un style de management qui supporte le travailleur.

B- Deuxième partie: Une vision globale du transfert technologique.

Cette partie est constituée d'un seul ouvrage²: Un rapport effectué par le gouvernement du Québec, pouvant servir de guide pratique et conceptuel pour un transfert technologique. Celui-ci regroupe les principaux aspects du transfert sous forme de tableaux et, est divisé en quatre grandes étapes où l'élément information est une composante essentielle.

¹ Craig, Diane. Cheap labor isn't the secret for Japanese, seminar is told dans Computing Canada (Canada). v8n8, apr 15, 1982. Pp 13.

² Les PME au Québec: État de la situation, déjà cité, 1987.

Première étape: Analyse et regroupement de l'information

• Niveau managérial

- les attitudes managériales
- les qualifications de la main-d'oeuvre
- la marge de manoeuvre (lois, règlements, décrets, conventions collectives...)

• Niveau commercial

- les études de marché

• NIVEAU TECHNOLOGIQUE

- la recherche sur l'état de la technologie dans le secteur
- la recherche des normes exigées dans le secteur
- la recherche au niveau des brevets
- une étude de faisabilité technique
- une étude de rentabilité et de productivité
- une recherche sur les accords industriels

Deuxième étape: Préparation du transfert technologique

• Niveau managérial

- plan stratégique de gestion du changement
- plan de formation du personnel
- plan de financement

• Niveau commercial

- stratégie de pénétration face à la concurrence
- plan marketing face aux clients

• **NIVEAU TECHNOLOGIQUE**

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - développement du produit ou du procédé
 - accord industriel | <ul style="list-style-type: none"> -conception -design -prototype -essais -brevet |
| | <ul style="list-style-type: none"> -contrat de fabrication sous licence -achat ou vente de savoir-faire |

Troisième étape: Mise en production

• **Niveau managérial**

- mise en oeuvre des différents plans (gestion du changement, formation, financement)
- ajustement des plans et mise en place de processus afin d'en faciliter l'intégration

• **Niveau commercial**

- mise en oeuvre du plan marketing et ajustement selon le client et la mise en production

• **NIVEAU TECHNOLOGIQUE**

- achat de machinerie et d'équipement
- ajustements physiques (agrandissement, modifications physiques des lignes de production, disposition de l'atelier, etc.)
- intégration du nouveau produit/service ou de leur amélioration à un contrôle de qualité

Quatrième étape: Évaluation des résultats

• Niveau managérial

- impact sur la gestion et sur le personnel

• Niveau commercial

- impact sur le marché et sur les concurrents

• NIVEAU TECHNOLOGIQUE

- impact sur la production du produit/service et sur les améliorations possibles**
-

D'après les recommandations, aucun transfert de technologie, même mineur, ne devrait être envisagé sans cette vue d'ensemble de l'entreprise et de son environnement.

L'analyse de ces étapes doit être intégrée aux deux autres composantes de l'innovation, que sont l'aspect managérial et l'aspect commercial, afin d'aborder le transfert technologique de façon globale.

Notons que les étapes sont bien situées par rapport à la chronologie des événements.

Le processus décisionnel que nous allons élaborer se situe entre les étapes 2 et 3.

C- Troisième partie: Décision technique

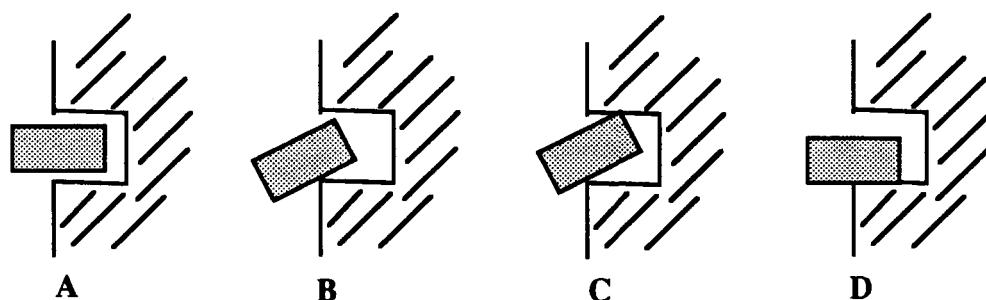
Dans cette partie, on a regroupé les articles qui étudient le côté spécification technique du robot. Le premier article¹ traite de l'utilisation d'un robot dans les procédés d'assemblage. Cette étude porte sur les problèmes d'intégration du robot et l'augmentation de la productivité dans le travail de l'assemblage. On y traite l'insertion d'une cheville dans un trou.

Le robot manque parfois à l'assemblage en dépit du fait que la partie assemblée a été préalablement enregistrée dans les spécificités du procédé. Le robot à répétition peut causer ce genre de problème car il ne peut retourner voir exactement sa programmation préalablement dans l'enveloppe de travail.

Les caractéristiques du robot tel la répétitivité change de l'un à l'autre. À titre d'exemple, la répétitivité est la tolérance à réviser un point dans l'espace qui a été préalablement visité. Si la répétitivité est de $\pm .005$ pouce, le manipulateur peut retourner à un point pendant son opération dans une marge de .005 pouce.

¹ Abdel-Malek, Layek. A case study on the use of robots in assembly processes dans Engineering costs & production economics (Netherlands). v9n1-3, apr 1985. Pp 99-103.

Dans le procédé d'insertion d'une cheville dans un trou, deux résultats sont possibles: Un succès ou un échec. Le succès dépend beaucoup de la répétitivité. Lors d'un succès, il peut quand même avoir des complications telles qu'illustrées en b) et c) de la figure suivante. Voici différentes possibilités d'approches de la cheville au trou:



Afin de corriger les mauvaises approches de la cheville telles que b) et c), on a développé la "force feedback". Cette force est un mouvement de la main du robot qui aide la cheville à entrer tels que en b) et c) évitant ainsi le blocage. Cette force, encore à l'état de développement, provoque parfois des complications.

Ce manquement à l'insertion peut être attribué à un défaut de la pièce et /ou à la qualité de répétition du robot. Il survient différentes questions:

Quelle est la probabilité d'obtenir un succès d'assemblage avec une certaine tolérance de procédé et de répétitivité pour un robot donné?

Quels sont les "designs" alternatifs possibles pour l'assemblage économique à l'aide de robots pouvant augmenter la probabilité de succès d'assemblage?

En fonction de maximiser la productivité du procédé, est-ce-que le robot devrait essayer d'assembler les mêmes deux parties plus d'une fois? Si oui, combien?

Comment fait-on pour choisir le robot le plus économique avec la meilleure répétitivité pour le procédé en considération?

Les trois premières questions ont été solutionnées. La quatrième fut traitée par l'auteur de cet article. Il a présenté un modèle pour estimer le nombre d'assemblage qui maximise le rapport de production du procédé et ceci pour un trou et une cheville données. A l'aide d'une équation, le problème a entièrement été défini sous forme mathématique et en termes scientifiques.

Le second article¹ va nous permettre de conceptualiser une utilisation pratique du robot et de suggérer des préférences d'ordre technique reliés au choix de celui-ci.

Cet article traite donc des investigations statistiques des performances spécifiques des robots.

Le domaine de la robotique industrielle est présentement dans une phase exponentielle de diffusion, où nouvelles technologies et nouveaux produits s'insèrent à une vitesse remarquable.

Dans ce constant changement, il est difficile pour une jeune industrie de développer un cadre de standards techniques qui rendrait uniforme l'identification des robots.

Cette lacune de standardisation a l'avantage d'offrir un maximum de liberté pour l'expérimentation technologique et l'innovation dans un meilleur et plus grand éventail de

¹ Schlesinger, Robert J. et Mohammad M. Imany. Statistical investigation of robot performance specifications dans Human systems management . Elsevier science publishers B.V. (North-Holland). N6, 1986. Pp 157-165.

produits. Elle a par contre le désavantage de nourrir la confusion parmi les clients produisant un mécontentement chez certains utilisateurs ainsi qu'un baisse de vente.

Pour choisir un robot, les managers non-experts font donc face au problème de communiquer leurs exigences avec le lexique de la nouvelle technologie. C'est à ce stade qu'ils ont besoin de points de références, d'une ligne de conduite et même de quelques règles répertoriées pour faciliter la décision.

Les caractéristiques de la performance robot sont en inter-relations étroites entre elles. Les manufacturiers fournissent généralement les points de performance sous forme de spécifications opérationnelles maximales. Par contre, ces maximums sont parfois mutuellement exclusifs.

Illustrons ces inter-relations en considérant un robot avec seulement trois spécifications-paramètres et mutuellement exclusifs:

- 1) la capacité de lever 100kg
- 2) la vitesse maximale de 1 500 mm/sec
- 3) la répétitivité de .5 mm

Si le robot lève une charge de 100 kg, on devrait s'attendre à ce que la vitesse soit inférieure à 1 500 mm/sec et /ou que la répétitivité soit moins performante.

Admettons que sous une charge de 100 kg, la vitesse du robot est de 500 mm/sec; alors la spécification de la vitesse n'est pas méticuleusement respectée. Afin d'augmenter celle-ci, l'utilisateur peut réduire la charge. En première approximation, la vitesse augmente en fonction de la réduction de la charge mais, pour ce qui est de la variation des autres

paramètres opérationnels du robot tels la répétitivité et la complexité du problème de combinaison rapide, on ne connaît pas leur interrelation.

Voici donc deux solutions possibles pour ce problème de performance. Premièrement, que les manufacturiers fournissent une fonction des paramètres de leur robot; cette tâche est très difficile en l'absence de standards industriels. La deuxième solution, étudiée dans cet article, est de déterminer une fonction statistique générale de ces paramètres.

Les résultats obtenus sont encore sujets à certaines incertitudes mais ceux-ci peuvent être éclairés à l'aide des spécifications que le manufacturier peut fournir

Les résultats de cette approche font face à certaines discussions. L'état de l'information couramment disponible pour déterminer la performance d'un robot industriel doit être révisé et une relation quantitative pour prévoir les interactions de plusieurs paramètres entre eux, doit être établie. Voici les problèmes rencontrés:

- 1) Les données de base des manufacturiers sont présentées différemment de l'un à l'autre.
- 2) Il est difficile de déterminer la performance robot en se servant des formats courants de spécifications.

La relation qui a été développée est présentée sous la forme d'une équation et traite quatre paramètres opérationnels: La capacité de manipuler, la vitesse maximum, la répétitivité, les degrés de liberté. Tous ces facteurs sont considérés fondamentalement dans le processus décisionnel entourant la sélection et les applications du robot industriel.

Si la complexité du système robot devient incompatible avec l'habileté de l'utilisateur à définir ses réponses aux paramètres préalables, alors cette incompatibilité peut devenir une barrière à l'implantation.

Un robot est simplement défini comme un manipulateur programmable interagissant avec l'environnement complexe. Cet interface peut être constitué de senseurs, d'ordinateurs, d'un environnement physique dynamique ainsi que d'une enveloppe de travail robot. L'enveloppe de travail peut être définie en terme d'espace tridimensionnel dont les coordonnées correspondent à X, Y et Z.

Dans ce contexte, on offre un large éventail de paramètres d'intérêt pour le dessinateur du robot; les coordonnées correspondent à la vitesse du robot, l'exactitude, la répétitivité et au senseur de résolution.

Le manque actuel de standard interdit donc l'évaluation de la performance à partir des données spécifiques du robot. Il y a aussi la non-uniformité des données de présentation et la rapidité du changement technologique qui nuisent aussi à cette évaluation. Par contre, on peut de façon non-formelle parler de robot de première génération et de deuxième génération pour les distinguer en terme de performance.

Les données de spécifications robots peuvent être divisées en quatre catégories:

- 1) caractéristiques physiques
- 2) caractéristiques statiques
- 3) caractéristiques dynamiques
- 4) caractéristiques de simultanéité

La méthodologie de cette étude inclus l'emploi d'analyses interoculaires, d'analyses de corrélation et d'analyses de régressions linéaires multiples. Elle présente l'interdépendance de plusieurs paramètres robot.

A l'aide de l'équation développée dans cette étude, nous pouvons prédire et choisir le robot le plus performant pour un prix égal où les résultats seront en terme de répétitivité, vélocité, degré de liberté et capacité de charge.

L'article suivant¹, nous fournit un support technique à la décision et sélection du robot. Cet article enrichit le cadre technique de la décision.

On considère les problèmes auxquels fait face une entreprise arrivée à la décision d'installer un robot. Ces auteurs ont voulu fournir une aide pour la sélection de robot parmi un ensemble offert; une telle aide doit satisfaire trois exigences:

- 1) Une base de connaissances doit être disponible pour éliminer le besoin d'une recherche laborieuse. Celle-ci doit contenir les informations pertinentes sur les robots offerts.
- 2) Cette aide doit être facile à utiliser par les managers et doit être efficace.
- 3) Cette aide doit être aisément accessible et partagée.

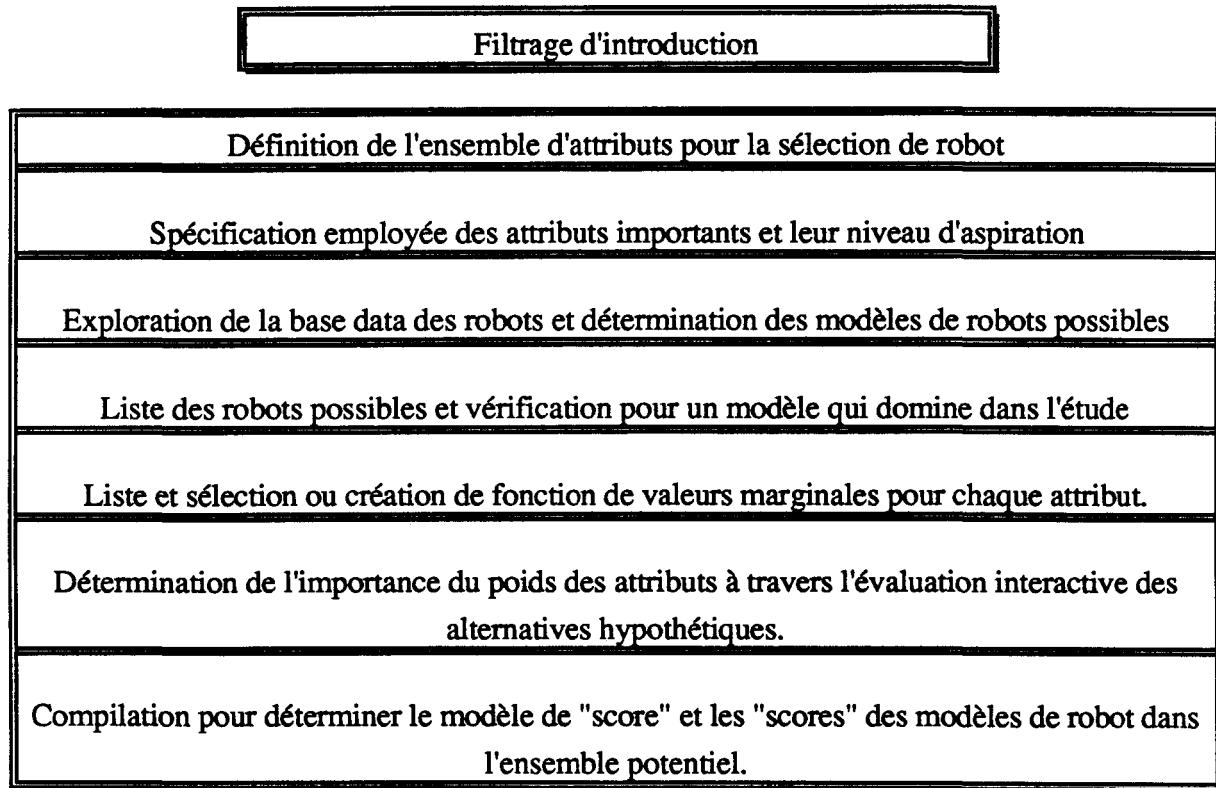
¹ Jones, Marilyn S., Charles J. Malmborg et Marvin H. Agee. Decision support system used for robot selection dans Industrial engineering. v17n9, sep 1985. Pp 66-73.

La base de connaissance mentionnée dans la première exigence doit décrire les attributs d'évaluation du robot, assurer la mise à jour en y incorporant les changements et comparer les différents modèles en respectant leurs attributs.

Le preneur de décision consulte une liste d'exigences robot et sélectionne les attributs qu'il a besoin (la capacité de charge, la capacité-mémoire, le prix, etc.) et énonce le niveau d'importance de chaque attribut. Une fois que l'ensemble d'alternative des robots potentiels est établi, on place par ordre de préférence les attributs exigés. Les attributs sont ensuite imposés au programme de l'auteur pour nous conduire à la sélection.

Ce système-support fournit à l'utilisateur une base de connaissance qui l'aide à construire un modèle préférentiel.

Voici un résumé des différentes étapes de ce système d'aide à la sélection-robot.



Filtrage des résultats.

D- Quatrième partie: Décision financière

Cette partie présente deux articles pertinents au processus décisionnel de sélection-robot lors de l'évaluation de l'investissement.

Le premier article¹ fait référence à la théorie de l'utilité. Nous débutons par la confection d'une liste des avantages à acheter un robot. On serait porté à acheter en fonction du prix mais, dans ce domaine, on doit choisir surtout en fonction des caractéristiques recherchées. La méthode proposée ici est établie en fonction de la sélection/évaluation; cette méthode met en évidence les facteurs physiques du robot. La méthode servira à choisir le robot le plus approprié par l'assemblage électronique en terme de quincaillerie informatique (logiciels, matériel informatique).

La théorie de l'utilité sert à évaluer les instruments et les facteurs d'évaluation sont les différentes caractéristiques de la quincaillerie appartenant au robot étudié.

Selon les auteurs, plusieurs méthodes financières utilisées lors de l'acquisition d'un robot, se servent de critères décisionnels financiers tels: La période de recouvrement, le retour sur l'investissement, "cash flow", TRI et le prix de revient du cycle de vie. Voici des extraits de certaines références citées.

Huang et Ghanforoush ont présenté une méthode d'évaluation financière qui tenait compte des facteurs critiques (retour sur un investissement et contraintes budgétaires), de facteurs objectifs (prix d'achat, coût d'installation, dépenses d'opération, coût de formation et d'entraînement, économie de main d'œuvre, coût du logiciel) et facteurs subjectifs (le temps de rodage, les services offerts par le vendeur, l'acceptation du robot par les travailleurs, l'adaptation du robot au changement de production).

¹ Nnali, Bartholomew O et Mary Yanacopoulou. A utility theory based robot selection and evaluation for electronics assembly dans Computers & industrial engineering. v14n4, 1988. Pp 477-493.

Pour sa part Nnasi a présenté une procédure d'évaluation prenant en considération aussi bien la quincaillerie que le logiciel. La procédure d'évaluation est générale mais n'a pas de champ d'application spécifique.

Une autre méthode financière pour l'évaluation d'assemblage-robot est celle de Scott et Husband. Ils se sont penché sur le coût unitaire d'assemblage. Cette méthode requiert le calcul du temps du cycle-robot, un paramètre difficile à calculer.

Une méthode de prédiction du cycle de vie et de temps-robot, élaborée par Nof et Lechtman fut présentée. Le rythme des innovations technologiques dans l'industrie est trop rapide pour que cette méthode soit applicable

Graves et Whitney proposent l'évaluation et la sélection des robots avec l'hypothèse d'équipements nouveaux et description de leurs capacités. Il présente un programme mathématique sous forme technique pour déterminer le système d'assemblage le plus économique et en respectant l'équipement disponible. Ce programme trouve des applications potentielles d'assemblage-robot au lieu d'identifier le robot le plus apte pour une tâche définie.

Messieurs Koksalan, Karman et Zions nous offrent un modèle d'évaluation/sélection à critères multiples et alternatifs (comparaison et alternative) où le preneur de décision choisit l'alternative. Une fonction d'utilité à attributs multiples est évaluée par l'intermédiaire d'un procédé de rétroaction. Celui-ci est basé sur la réponse du preneur de décision. L'algorithme a initialement été développé pour la sélection d'une maison dans le marché immobilier. Ce modèle est peu applicable car la préférence parmi les robots est difficile à établir.

Parmi ces différents modèles décisionnels, aucun n'a permis à l'évaluateur d'investiguer l'interaction des différents facteurs qui mènent à la sélection de robots.

Dans cette étude, la théorie utilisée est celle de l'utilité. Soulignons que celle-ci contient un algorithme qui suit une fonction de l'utilité. Cette fonction est établie à partir d'attributs fournis par le manager. Ces attributs peuvent être, par contre, changés par la suite: à la hausse, à la baisse ou même enlevés; ainsi la capacité à lever peut varier de 150 kg à 100 kg. L'algorithme de ce modèle aide le preneur de décision en lui permettant de considérer son évaluation et les composantes spécifiques du robot. Cet algorithme ne se sert que des caractéristiques disponibles sur le marché.

Le deuxième article¹, présente ce qui est utilisé dans la pratique de l'investissement immobilier. Les auteurs considèrent que le remplacement de l'équipement désuet par de nouvelles machines technologiquement améliorées aiderait la productivité et doit, de ce fait, être considéré comme un investissement immobilier.

Dans le contexte d'une entreprise privée qui veut investir dans ces nouvelles machines ou technologies, la question est de savoir si cet investissement génère un taux de rentabilité satisfaisant.

¹ Shore, Barry et Gordon D. Smith. A program to evaluate productivity investments dans Industrial engineering. v13n10, oct 1981. Pp 32-34.

E- Cinquième partie: Décision en pratique

Cette partie ne contient qu'un article, soit celui de Gérald Fleisher de l'Université de Southern California¹. Il est le seul article disponible se rapprochant du sujet de notre mémoire.

L'auteur présente une méthodologie généralisée pour évaluer les conséquences économiques de l'acquisition de robots à séquences répétées. Dans l'introduction, on présente trois motifs pour justifier l'installation d'un robot: Premièrement, la diminution des coûts salariaux, deuxièmement, la pénétration de robots plus petits, plus flexibles au niveau des nouveaux manufacturiers faisant baisser les prix unitaires et troisièmement, les applications qui s'accroissent avec l'augmentation des capacités telle la vue qui permet une manipulation plus convenable.

La problématique de cet article décrit l'aspect économique comme un aspect fondamental du preneur de décision. Cet équipement peut être un investissement de plusieurs millions. Les petites entreprises peuvent aussi faire l'acquisition de cet équipement sophistiqué mais sans posséder l'expertise et les ressources humaines des grandes entreprises pour éclairer leur décision.

L'auteur suggère une démarche dans l'acquisition d'un robot. La première étape consiste en l'identification de la machinerie nécessaire parmi le large éventail de la population de robots et équipements auxiliaires disponibles. A cet étape, il sera nécessaire de décrire les

¹ Fleischer, G.A.. A generalized methodology for assessing the economic consequences of acquiring robots for repetitive operations dans AIIE proceedings, 1982 conference. May 23-27, 1982. Pp 130-139.

exigences techniques importantes du robot où nous combinerons les exigences aux caractéristiques disponibles. Les précédents articles de notre revue de littérature aide le gestionnaire à sélectionner le robot. La deuxième étape est d'établir une analyse des impacts économiques en fonction du robot choisi. Cette analyse explore le développement d'une méthodologie d'évaluation qui permet d'utiliser les prévisions et les conséquences économiques d'acquisition d'un ou plusieurs robots à séquences répétitives. La troisième étape est la décision d'acquisition d'un système parmi ceux disponibles.

Dans sa revue de littérature pour relever les études économiques reliées à la robotique, cet auteur dénombra quatorze articles pertinents sur plus de deux cent portant sur trois critères d'investissement: La méthode comptable, la méthode de délai de récupération et les méthode de "cash-flow".

A- La méthode comptable : Elle décrit les conséquences économiques (coûts et bénéfices) en termes comptables. Le coût du capital récupéré est donc défini par la dépense en amortissement annuel.

La principale objection à cette méthode est le fait que le coût d'opportunité soit ignoré. Le C.R.(Capital Recovery Cost) étant décrit comme le rapport sur retour minimum. Il n'est donc pas relié à l'objectif financier de maximisation de l'avoir des actionnaires.

Le C.R. est égal à la somme d'argent que je dois amasser chaque année pour compenser l'investissement.

$$\text{Amortissement linéaire annuel} + \text{Moyenne des sommes d'intérêt annuel à gagner sur le solde résiduel} = \text{Valeur moyenne annuelle de ce que l'investissement doit me rapporter pour couvrir son coût d'opportunité}$$

L'équation la plus populaire pour calculer le C.R. est:

$$CR = (C-L) \left(\frac{A}{P,I,N} \right) + Li \geq 0$$

où C: Coût initial
 L: Valeur résiduelle net à la fin des N périodes
 i: Coût d'opportunité
 N: Vie de service de l'investissement

$\left(\frac{A}{P,I,N} \right)$ représente une fonction algébrique de la forme: $= \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$

Dans cette équation, le C.R. est calculé comme l'addition du coût équivalent de l'amortissement annuel avec l'intérêt de la valeur résiduelle.

On pourra aussi calculer le pourcentage d'erreur à l'aide de l'équation suivante:

$$\Delta = 1 - \frac{(1-P) / N}{(1-P)\left(\frac{A}{P,i,N}\right) + P_i} \text{ où } p = L / C$$

B- La méthode du délai de récupération: Cette méthode est largement employée dans l'industrie malgré certaines déficiences théoriques. Les plus importantes sont le fait d'ignorer les entrées d'argent après la période de recouvrement et de ne pas tenir compte du coût d'opportunité. Cette méthode ne devrait pas être employé comme unique critère pour mesurer le rendement économique.

$$\text{Délai de récupération (Dr)} = \frac{\text{Total des investissements}}{\text{Sommation des économies futures nettes annuelles}}$$

Pour connaître le délai de récupération, on calcule le nombre d'années que contient la sommation des économies futures nettes annuelles lorsque celle-ci égale le total des investissements.

C- Les méthodes de "cash flow": Les méthodes de "cash flow" escomptées sont la valeur actuelle nette, le rendement annuel équivalent, le retour sur investissement, le taux de rendement interne. Gérald Fleisher a répertorié huit publications faisant appel à ces méthodes dans l'investissement de robots.

Voici les formules:

La valeur actuelle nette représente l'accroissement de la valeur de l'entreprise.

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{FM_t}{(1+i)^t} - C \geq 0$$

où FM_t Flux monétaire net au temps t
 i: Coût d'oportunité
 C: Investissements initiaux
 n: Durée de vie du projet

Le rendement annuel équivalent est le paiement moyen correspondant à l'accroissement de la valeur de l'entreprise.

$$RAE = \frac{(VAN)i}{(1-(1+i)^{-n})}$$

Le taux de rendement interne est le taux d'emprunt maximal que peut supporter un projet d'investissement.

$$TRI = \sum_{t=0}^n \frac{FM_t}{(1+i)^t} - C = 0$$

où FM_t Flux monétaire net au temps t
 i: TRI
 C: Investissements initiaux
 n: Durée de vie du projet

3.1.3 Discussion

Cette revue de la littérature nous a conduit à choisir l'approche financière de Gérald Fleisher comme la plus adéquate lors du processus d'évaluation d'acquisition de robot.

Dans le but de situer le domaine financier dans l'entreprise, nous allons dans la prochaine section, utiliser l'approche systémique. Par la suite, nous pourrons présenter les fondements de la théorie financière nécessaire à l'élaboration de notre processus décisionnel d'acquisition de robot.

3.2 L'ENTREPRISE COMME UN SYSTÈME

Les techniques financières sont complexes et recouvrent tellement de dimensions qu'on a avantage à présenter l'entreprise dans son ensemble et le système financier comme processus décisionnel.

3.2.1 Système général de l'entreprise

L'approche systémique est un paradigme qui permet de considérer un ensemble complexe comme un tout dont les parties sont interdépendantes et interreliées.

Cette vision globale du système nous permet l'étude des parties et des interrelations entre elles. Selon l'approche de Moag Lerner et Carleton, résumée par Jacques St-Pierre dans son livre "Précis de finance":

L'entreprise peut être définie comme un ensemble de transformations soumises aux contraintes physiques, économiques et sociales que lui impose l'environnement dans lequel elle opère.¹

En considérant l'entreprise comme un système global, on suppose une relation étroite entre trois types de transformations. Les transformations physiques au niveau de la production et de la distribution, les transformations d'informations au niveau de l'organisation d'évènements au sein des modèles décisionnels, descriptifs et prédictifs et enfin les transformations de valeurs qui soumettent les transformations physiques et les transformations d'informations à un système de préférences.

La transformation d'intrants physiques en extrants physiques implique donc que ces transformations sont sous la domination d'un système de valeurs basé sur un ensemble cohérent d'objectifs et de politiques.

Dans cette approche, l'entreprise est considérée fermée et est constituée de trois éléments; l'environnement, un système de base et un système de régulations. Le système de base est le lieu des transformations physiques. Celui-ci répond aux normes que le système de régulation et ses sous-systèmes imposent et contrôlent.

¹ St-Pierre, Jacques, Précis de finance, 1980, P. 10

L'environnement externe est composé du gouvernement, des marchés, des ouvriers, des fournisseurs, etc... L'environnement interne se compose du système de base et des variables de commande du système de régulation et des sous-systèmes de contrôle.

Dans cette seconde partie nous présentons le système de l'entreprise ainsi que le sous-système financier afin d'amener la décision financière tel que définit par Gérald Fleisher dans le dernier article de la revue de littérature.

3.2.2 Système financier

L'entreprise considérée comme système intégré.

Voici une description des variables de ce modèle: (annexe Z.1)

Au premier niveau (N1), les variables de décisions stratégiques sont générées de préférences par une étude de la demande pour les produits de l'entreprise et du choix des variables provenant de l'environnement exogène. A ce niveau, on sélectionne les critères qui mesurent l'atteinte des objectifs (profits, ventes, part du marché, etc...).

Au deuxième niveau (N2), les variables de décision tactiques sont les moyens d'exécution de la planification stratégique (politiques d'achat, de mise en marché, de financement, etc...). Un échange entre les deux niveaux est essentielle. D'ailleurs, la communication entre les deux produira les variables de décisions multi-fonctionnelles.

Au troisième niveau (N3) , les variables de décision multi-fonctionnelles dépendent des décisions prises aux deux premiers niveaux ainsi que des autres fonctions (départements). L'interdépendance des différentes fonctions nécessite de la communication et de l'information (localisation, taille de l'entrepôt...).

Au quatrième niveau (N4), les variables de décision, fonctionnellement indépendantes, ne nécessitent pas d'échanges avec les autres fonctions. Elles dépendent par contre des variables stratégiques et tactiques (critères de choix des investissements en finance, médias de publicité en marketing techniques de contrôle de la qualité en production, etc...).

La modélisation est une opération intellectuelle qui consiste à clore artificiellement des systèmes ouverts.

Pour bâtir un modèle valable, on doit sélectionner et simplifier. Ce modèle décrira de façon approximative le comportement des systèmes qu'il représente. Le modèle prédit avec une marge d'erreurs tolérable mais son utilisation présente tout de même de sérieux dangers. C'est pourquoi, les modèles utilisés pour les décisions de gestion doivent être constamment révisés afin d'en améliorer la qualité. Le modèle doit aussi décrire le comportement d'un système fermé.

Si une réponse erratique peut être induit dans le système, alors le système est ouvert et dans ce cas, la modélisation n'est plus daucune aide pour la prise de décision.

L'entreprise étant effectivement un système ouvert, le problème est de savoir si on peut alors substituer de façon pratique et utile, à ce système ouvert, un système fixe entièrement sous le contrôle de ses sous-systèmes de régulation et que celui-ci puisse être décrit par des modèles à paramètres stables.

Un modèle global d'entreprise avec un caractère opérationnel, même si la modélisation est de nature à permettre une rationalité accrue des décisions, ne fournira jamais une représentation entière de la réalité. Il est plus fonctionnel de prendre ses décisions avec l'aide d'un modèle. Par contre, celui-ci doit être manié avec infiniment de précaution.

Les décisions de l'entreprise sont prises selon un principe de rationalité limitée. Ceci est dû aussi à la multiplicité et l'imprécision des objectifs. Les décisions économiques relèvent de critères d'efficience, comme nous le verrons dans la troisième partie de ce chapitre.

Malgré les nombreux problèmes théoriques et pratiques que soulève l'application de l'approche systémique à l'analyse de la fonction financière, celle-ci semble être la voie la plus féconde pour accroître la rationalité des décisions financières particulièrement lors de l'acquisition d'un robot.

3.3 L'ENVIRONNEMENT FINANCIER DE L'ENTREPRISE

3.3.1 L'environnement économique de n'importe quelle entreprise

C'est l'ensemble des facteurs extérieurs à l'entreprise exerçant une influence sur son activité mais qui, en principe, ne subissent pas l'influences décisionnelles de la part de celle-ci.

3.3.2 Environnement de l'entreprise

L'environnement de l'entreprise est constitué d'une multitude de dimensions dont les marchés financiers que nous allons décrire brièvement.

Selon le livre Finance 556¹, les marchés financiers jouent un rôle très important dans notre économie. Ils facilitent le transfert de l'épargne réalisée par les unités excédentaires vers les unités déficitaires. Ces surplus viennent des unités économiques qui produisent plus

¹ Page, Jean-Paul, C.F.A., Finance 556:notes de cours, 1988

qu'elles ne consomment. Les surplus peuvent être transférés à des unités économiques qui produisent moins qu'elles ne consomment ou, encore, qui désirent investir dans la production, plus que leur propre surplus. Les transferts se font en monnaie et cette transaction implique la création d'un actif financier de propriété ou de créance. L'unité excédentaire obtient un actif financier en retour de son épargne et l'unité recevant ce transfert se crée une obligation financière envers le détenteur de l'actif financier. Les unités ne transigent pas toujours directement entre elles. Elles utilisent généralement un intermédiaire financier, entre autre, la banque qui assume le risque de faillite de l'emprunteur. On appelle marché primaire l'action de créer un nouvel actif financier. Le marché secondaire est le marché où se rencontre les investisseurs pour s'échanger entre eux les titres déjà émis au précédent marché.

Le principal apport des marchés financiers à la finance est de fournir l'information nécessaire à l'évaluation du rendement requis par l'investisseur.

3.4 LE SYSTÈME FINANCIER COMME PROCESSUS DÉCISIONNEL

Dans cette partie, afin d'exposer le système financier comme un processus décisionnel, nous allons présenter l'objectif de maximisation de la richesse des actionnaires, bien définir les paramètres impliqués, aborder le théorème de la séparation pour finalement exposer les critères d'investissement.

3.4.1 La finance comme critère décisionnel à l'acquisition d'un robot

La finance est une science qui peut se diviser en plusieurs composantes: La finance publique, la finance institutionnelle, la finance personnelle, le placement, la finance internationale et la finance corporative. Par rapport à l'entreprise, les cinq premiers champs

d'application font partie de la finance externe tandis que la sixième, la finance corporative, fait partie de son système de régularisation. Celle-ci est la finance des entreprises vue de l'intérieur.

Elle traite les sujets d'investissement, de financement, de la gestion de fonds de roulement, du paiement de dividendes, etc... C'est pourquoi la finance corporative avec ses éléments fondamentaux est une discipline essentielle à toute prise de décision. Dans le cadre de notre mémoire en gestion des PMO, la théorie financière constitue un des fondements théorique à notre modèle économique d'acquisition d'un robot.

3.4.1.1 Hypothèse de départ

Notre étude théorique s'effectue dans le cadre d'un marché parfait. Nous évoluerons dans un contexte de certitude et, finalement, nous supposons que les investisseurs sont rationnels tel que défini en théorie financière.

3.4.1.2 Marché parfait

Dans la réalité, le marché parfait n'existe pas. Si on se sert de cette hypothèse, c'est parce qu'elle simplifie grandement la théorie et nous permet d'identifier clairement les variables pertinentes et leurs interrelations dans le cadre du processus d'évaluation dans le projet d'acquisition d'un robot.

Dans un marché des capitaux parfait, il n'y a aucun acheteur, vendeur ou émetteur de titres qui soit assez important pour influencer les cours par ses opérations. Les investisseurs sont tous informés également et gratuitement des cours et de toutes les caractéristiques importantes des actifs financiers. La vente, l'achat et l'émission des titres ne sont grevés

d'aucune taxe, commission ou autres coûts de transaction. Il ne doit pas non plus y avoir d'impôt dont l'application changerait les décisions économiques.

3.4.1.3 Contexte de certitude

Le contexte de certitude nous permet d'esquiver le problème du risque en supposant que tous les actionnaires actuels ou potentiels ont une connaissance exacte et complète des événements futurs. Cette hypothèse est que chacun a une vue conforme de l'avenir, particulièrement en ce qui a trait aux revenus futurs, les flux monétaires, les dividendes et le cours des actions.

Pour l'étude du critère de valeur actuelle nette, le contexte de certitude est une condition théorique qui fixe les variables: La durée, les entrées, le taux d'actualisation, les sorties d'argent. Sous les conditions de certitudes et de marché parfait, le marché des capitaux est régi à l'équilibre par un seul taux d'intérêt: Le taux sans risque.

3.4.1.4. Objectif de l'entreprise

La finance corporative étant orientée exclusivement vers la prise de décision, il faut nécessairement définir un objectif car on sait que choisir et décider correctement suppose avoir une objectif clairement défini au départ.

L'objectif premier au niveau de la finance est la maximisation de la richesse des actionnaires. Cet objectif n'exclut pas de respecter un minimum d'objectifs sociaux, le respect de l'environnement ou encore, quelques actions sociales qui bien souvent sont d'apparence contraire aux objectifs de richesse mais dont l'action peut assurer la survie de l'entreprise (environnement) ou en améliorer l'image (augmentation des ventes). Les choix

entre l'objectif social et les sacrifices en terme d'efficacité économique ne sont pas du ressort des entreprises mais de la société, et ceci par le biais des lois gouvernementales.

L'objectif premier des entreprises est donc l'efficacité économique qui garantit le mieux-être pour les propriétaires sujets aux contraintes que la société lui imposera par le biais des gouvernements.

3.4.1.5 Théorème de la séparation

Selon la théorie financière que nous acceptons, la décision d'investissement est complètement indépendante de la décision de financement¹. Pour cela, nous posons l'hypothèse que tous les projets d'investissement sont financés à 100% par des fonds propres et nous supposons que cette procédure nous permet de prendre des décisions optimales en matière de sélection de projets d'investissement.

Le processus décisionnel prend place avec les opportunités d'échanges au marché du capital. Il apparaît donc comme deux étapes bien distinguées:

1- Choisir la décision de production optimale en acceptant un projet tant que le rapport marginal du retour sur investissement est égale au rapport objectif du marché (rentabilité).

2- Choisir le patron de consommation optimal en prêtant ou empruntant le long de la ligne de marché pour égaliser le temps de préférence subjectif avec le rapport de retour du marché.

¹ Copeland, Thomas E. et J. Fred Weston. *Financial theory and corporate policy*. Addison-Wesley Publishing company. 1979.

La séparation des décisions d'investissement et de consommation est connu sous le théorème de la séparation de Fisher (traduit de Financial theory and corporate policy).

Pour un marché du capital complet et parfait donné, la décision de production est dirigée uniquement par un critère impartial du marché (représenté par la richesse atteinte) sans égards aux préférences subjectives individuelles qui entrent dans leur décision de consommation.¹

3.4.2 Critères d'investissement

3.4.2.1 Introduction

Les flux monétaires qui seront utilisés dans tous les critères d'investissement, devront être considérés d'un point de vue marginal, c'est à dire évalués en fonction de l'impact de la décision d'investir. Illustrons ce principe; lors de l'acquisition d'une nouvelle machine, les flux monétaires de la nouvelle machine moins les flux monétaires sans la nouvelle machine constituent les flux monétaires pertinents à l'acquisition.

Lorsque les flux monétaires marginaux du projet sont estimés, nous nous servons alors des différents critères de décision pour accepter ou rejeter chaque projet.

¹ Fleisher, G.A., déjà cité, p.10

En théorie financière, nous disposons de cinq critères de sélection de projet d'investissement:

- 1- Le délai de récupération
- 2- Le taux de rendement comptable
- 3- La valeur actuelle nette
- 4- L'indice d'enrichissement
- 5- C.R.C. (Capital Recovery Cost)

Nous présenterons les méthodes les plus utilisées lors d'achats liés à l'automatisation¹: les méthodes 1, 2 et 5.

3.4.2.2 Le délai de récupération

Le délai de récupération est un critère qui désigne la durée de temps requis pour reconstituer l'ensemble des sorties de capitaux initiaux à partir des entrées nettes de fonds générées par le projet. Ce critère est actuellement très utilisé. C'est en fait le seul critère qui permet d'évaluer l'impact que peut avoir un projet sur la liquidité de l'entreprise. Plus le délai est court, meilleur est le projet en terme de liquidités. Le délai de récupération peut permettre aussi de s'ajuster au risque en acceptant l'hypothèse que le risque augmente avec le temps. Dans ce contexte, lorsque le risque d'erreur d'automatisation s'accroît dans le temps, il devient important de récupérer les montants investis le plus tôt possible.

¹ Communication avec le Centre de Recherche Industriel du Québec (Qué.), octobre 1990

La forme mathématique de ce critère n'actualise pas les entrées d'argent. Elle ne considère pas non plus les flux monétaires postérieurs à la période de recouvrement. Mais en faisant l'hypothèse que les actifs ont une structure permanente et qu'ils généreront des flux monétaires perpétuels, c'est-à-dire que si le nombre d'années de récupération fixé par le marché est X et qu'après X années l'appareil est remplacé par un appareil de fine pointe et ceci jusqu'à l'infini alors, le taux de rendement est l'inverse du délai de récupération (1 / Dr).

La formulation

$$Dr = \frac{C_0}{\sum CF_t}$$

où C_0 : investissement initial
 CF_t : Flux monétaire annuel caractéristique
 Dr: Délai de récupération

Cette vision de la décision d'investissement permet l'actualisation (infinie) et est conforme à la théorie financière.

3.4.2.3 La valeur actuelle nette (V.A.N.)

La valeur actuelle nette s'évalue en soustrayant la valeur actuelle des sorties de fonds initiales de la valeur actuelle des entrées nettes de fonds et cela, pour toute la durée de vie du projet.

Lorsque le résultat est positif, on accepte le projet. Le taux d'actualisation utilisé pour le calcul de la VAN correspond en pratique au taux de rendement exigé et établi selon le risque du projet par le marché financier pour des projets de même risque. Dans un contexte de certitude et de marché parfait, le taux exigé est le taux sans risque.

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{FM_t}{(1+i)^t} - C \geq 0$$

où FM_t Flux monétaire net au temps t
 i: Coût d'opportunité
 C: Investissements initiaux
 n: Durée de vie du projet

3.4.2.4 C.R. (Capital Recovery Cost)

Ce critère pour un projet est l'équivalent du coût annuel uniforme du capital investi.

C'est un montant annuel qui couvre les items suivants:

1- L'amortissement

2- L'intérêt du capital investi

C'est un critère qui peut être calculer de différentes façons mais dont le résultat est:

$$C.R. = \text{Amortissement} + \text{Intérêt moyen annuel}^1$$

$$CR = (C-L) \left(\frac{A}{P,I,N}\right) + Li \geq 0$$

où C: Coût initial
 L: Valeur résiduelle net à la fin des N périodes
 i: Coût d'opportunité
 N: Vie de service de l'investissement

$\left(\frac{A}{P,I,N}\right)$ représente une fonction algébrique de la forme: $= \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$

¹ DeGarmo P., Canada J. et Sullivan W., Engineering Economy, 1979.

3.5 LE TAUX D'ACTUALISATION THÉORIQUE

3.5.1 Séparation de la décision d'investissement et celle du financement

Pour un même projet réalisé par deux entreprises différentes, en terme de risque, le taux d'intérêt du financement sera différent; ceci parce que le passif du projet ne se dissocie pas du passif de l'entreprise. En fait, lorsque les créanciers évaluent un dossier de prêt, leur décision n'est que peu influencée par le projet lui-même. Les garanties de fonds tiennent compte de nombreux autres facteurs dont: Les qualités administratives des dirigeants, le comportement passé de l'entreprise avec ses créanciers, l'environnement dans lequel l'entreprise évolue, etc... En pratique, les modes de financement dépendent donc bien plus de l'entreprise qui entreprend le projet que du projet lui-même.

Le financement a bien sûr un impact sur la valeur de l'entreprise particulièrement dans un monde avec impôt. La valeur de l'entreprise augmente avec l'économie d'intérêts¹. Mais, ce facteur ne rend pas un projet meilleur.

Voici donc la logique par laquelle la décision d'investir est distincte de la décision de financement. Ces investissements doivent être choisis d'abord d'après leur valeur actuelle nette (VAN) et cela indépendamment du mode de financement. En situation de rationnement du capital, les modèles de programmation mathématique peuvent alors être utilisés comme support au processus de décision d'investissement et, non pas régler les problèmes de financement.

¹ Page, Jean-Paul, C.F.A., Finance 556:notes de cours, 1988, p. 6.37

Les subventions et aides gouvernementales qui sont spécifiques à certains projets, entrent dans le calcul de la VAN et nous devons tenir compte de cette aide de financement mais comme un ajout de flux monétaires.

3.5.2 Estimation du taux d'actualisation (théorique)

3.5.2.1 Introduction

Afin de pouvoir estimer un taux d'actualisation (appelé aussi coût de capital ou taux de rendement exigé) pour l'utilisation du processus décisionnel élaboré au chapitre suivant, nous allons décrire le contexte théorique de ce taux, en donner une définition claire et décrire brièvement les méthodes développées pour son évaluation. Nous allons ensuite conclure des applications possibles dans le cas d'achat de robots ou C.A.O./ F.A.O.

3.5.2.2 Coût de capital

Le coût de capital est utilisé dans trois domaines distincts: Dans l'entreprise réglementée pour la fixation des tarifs, dans l'évaluation de la valeur marchande d'un bien et en finance corporative au niveau des décisions qui tiennent compte de l'argent dans le temps.

Voici une façon de présenter le taux de rendement¹

Le taux de rendement = Taux réel + Prime d'inflation + Primes de risque requis d'intérêt

Le taux réel d'intérêt: Exprime la productivité marginal du capital en termes réels

La prime d'inflation: Compense le taux d'inflation anticipé par l'investisseur. Elle est justifiée par la perte de pouvoir d'achat.

Les primes de risque: S'ajoute au taux exempt de risque conformément au degré de risque de chaque possibilité d'investissement pour établir le taux de rendement approprié. Ces primes couvrent le risque opérationnel, le risque financier, le risque d'intervention gouvernementale, le risque international,etc...

Les différents taux d'intérêt ou de rendement dans une économie donnée divergent en raison de leur échéance, en fonction du risque d'insolvabilité de l'engagement financier.²

Dans le domaine de l'évaluation des projets d'investissement, le coût du capital est d'une importance primordiale. Il est une variable critique dont l'évaluation nécessite une méthodologie rigoureuse convenant à diverses situations.

¹ Belzile, Réjean et autres, Analyse et gestion financière, Presse de l'université du Québec, 1989

² Belzile, Réjean et autres, déjà cité, 1989

La théorie dans l'évaluation du coût de capital s'appuie sur deux écoles de pensées.

Ceci est dû aux faits que cette théorie a été développée dans deux domaines(l'entreprise réglementée pour la fixation des tarifs et dans l'évaluation de la valeur marchande d'une entreprise) et que cette théorie a été par la suite généralisée au troisième (la finance corporative), tout en posant plusieurs hypothèses restrictives.

C'est ainsi que l'on définit, dans le manuel de Finance 556, le coût de capital¹ :

Le taux de rendement minimum à exiger sur un projet d'investissement de sorte que la valeur au marché de l'entreprise, c'est-à-dire le prix de ses actions au marché, ne change pas.

Le coût de capital est aussi un coût marginal selon Gagnon-Kouri² :

Le coût de capital est le coefficient d'actualisation qui sert à calculer la rentabilité d'un nouveau projet d'investissement, c'est-à-dire d'un accroissement de la taille d'une organisation ou du stock de biens de production d'une société.

Le coût de capital est un taux qui dépend du risque du projet et non pas du risque de l'entreprise. Si un projet change le risque de l'entreprise, on doit en tenir compte dans l'évaluation. Le taux de rendement sera donc ajusté en fonction du risque de l'entreprise.

Il pourra donc être déterminé en fonction de l'impact marginal du risque du projet sur le risque de l'entreprise.

Dans l'évaluation d'un projet d'investissement, le taux d'actualisation est une valeur critique qui doit être évaluée selon la méthodologie qui convient le mieux car une variation

¹ Page, Jean-Paul, C.F.A., Finance 556:notes de cours, 1988

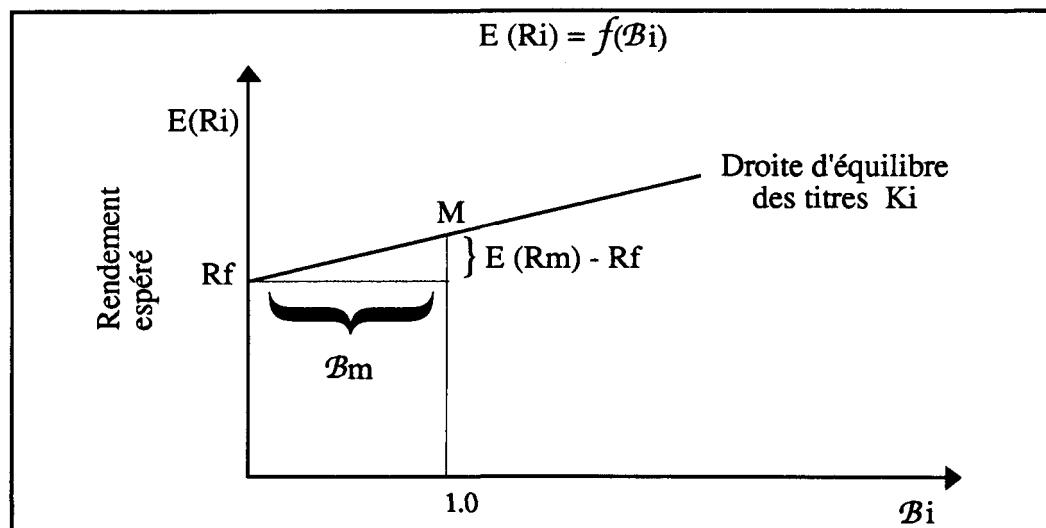
² Gagnon, Jean-Marie et Nabil Koury, Traité de gestion financière, 3 ième édition revisée, Gaétan Morin éditeur, 1988

modeste peut changer une décision d'investissement en une décision de non-investissement et vice versa.

3.5.2.3 Les différentes méthodes d'estimation

3.5.2.3.1 Le Modèle d'évaluation des actifs financiers (C.A.P.M.)

Nous devons souligner l'existence du concept risque-rendement dans les différentes méthodes d'estimation du taux d'actualisation même si cette étude ne traite pas de l'incertitude. On se sert ici de la relation risque-rendement pour évaluer le rendement futur.



L'équation est:

$$K_i = R_f + \beta_i (E(R_m) - R_f)$$

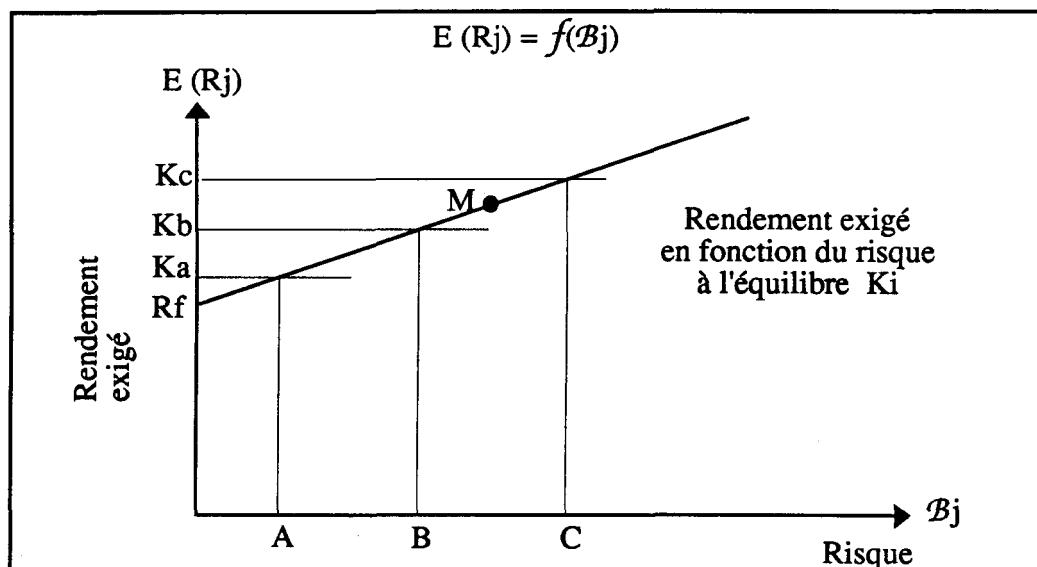
où	K_i :	Rendement exigé à l'équilibre sur le projet
	R_f :	Taux sans risque
	$E(R_m)$:	Taux de rendement espéré du marché
	β_i :	Mesure du risque systématique du projet (Beta du projet)

Dans cette méthode, la principale difficulté vient de l'estimation du β lorsque l'entreprise n'est pas cotée en bourse. Le β mesure donc la sensibilité du prix d'un titre aux fluctuations du marché efficient estimé en bourse.

Ce modèle tient compte du fait que les investisseurs ont en aversion le risque et tentent de maximiser le rendement de leur portefeuille et d'en minimiser le risque. Ils diversifient donc leurs actifs afin de créer un équilibre implicite entre le risque et le rendement espéré de chaque titre. De cette façon, ils ne subissent que le risque systématique au marché.

3.5.2.3.2 Catégories de projet

L'estimation du coût du capital par catégorie de projet est une méthode qui simplifie la tâche en groupant les différents projets par catégories de risque.



Le risque devant être évalué tel que celui-ci l'aurait été au marché pour un projet donné, le gestionnaire devra estimer une valeur réaliste à l'indice de risque de chaque

catégorie en se basant sur les opportunités de placement qui existent sur le marché financier dans des entreprises aux secteurs industriels équivalent en terme de risques-rendement.

Il faut ensuite évaluer la prime de risque (rendement du marché moins le taux sans risque).

On peut maintenant remplacer ces deux paramètres dans l'équation du modèle d'établissement du prix des actifs financiers à l'équilibre:

$$E(R_j) = R_f + (E(R_m) - R_f) \beta_j$$

pour obtenir $E(R_j)$ qui représente le taux de rendement dans la catégorie de risque j.

Ce taux de rendement dépendra uniquement de la catégorie de risque auquelle est rattachée un projet d'investissement.

3.5.2.3.3 Le coût du capital pondéré

C'est le coût moyen au marché des diverses sources de fonds: Emprunts, actions privilégiées, actions ordinaires. Celui-ci a trait au coût d'un financement additionnel que l'entreprise veut obtenir et dont elle a fixé la composition. Connaissant les proportions optimales de l'utilisation des sources de fonds, on peut calculer une moyenne pondérée en fonction des proportions relatives de chaque facteur de pondération. Le coût du capital peut donc servir de critère d'évaluation d'un nouveau projet où le coût du financement supplémentaire est un coût marginal de cet accroissement de l'entreprise. Pour que le projet

soit rentable, le taux de rendement interne (TRI) doit dépasser le coût marginal pondéré du capital de l'entreprise.

Cette méthode à l'avantage de refléter la façon dont la firme se finance dans une perspective à long terme et ce, peu importe le mode de financement spécifique pour l'investissement donné. Cependant, il faut tenir compte du coût implicite et explicite des sources de financement.

Lorsque les sources de financement et leurs parts relatives sont déterminées et stables, on peut alors calculer le coût moyen pondéré du capital au marché à l'aide de l'équation:

$$P = W_d K_d + W_p K_p + W_o K_o$$

où P Coût moyen pondéré du capital de l'entreprise

W_d: Pourcentage du financement par dette

Wp: Pourcentage du financement par actions privilégiées

W_o: Pourcentage du financement provenant des capitaux propres

K_d: Coût de la dette après impôt (%)

K_p: Coût des actions préférentielles (%)

K_o : Coût du capital actions ordinaires (%). Selon les besoins de financement requis par l'entreprise, K_o est soit le coût des bénéfices disponibles aux actionnaires ordinaires ou le coût d'une nouvelle émission d'actions ordinaires

$$\text{et} \quad W_d + W_p + W_g = 1$$

P représente un coût marginal

K_d , K_p et K_o représentent les coûts actuels en %

Notons que les pondérations et les coûts sont évalués au marché.

3.5.2.4 Le coût d'opportunité

Cette méthode d'estimation du coût du capital a pour objectif de maximiser la valeur de l'entreprise au marché en sélectionnant les projets dont le rendement est plus grand ou égal au rendement que les actionnaires peuvent obtenir pour un investissement de même niveau de risque, appelée coût d'opportunité des actionnaires. La détermination de ce taux se fait à l'aide des opportunités de placement que le marché financier offre.

3.5.2.5 Le coût de financement du projet

On ne doit pas utiliser cette méthode car celle-ci génère un impact non négligeable sur la structure financière de l'entreprise et implique qu'un bien donné peut avoir une valeur différente selon le mode de financement.

3.5.2.6 Conclusion

Le coût du capital est un taux déterminé au marché et doit refléter le risque marginal du projet à évaluer. On doit aussi tenir compte du risque des différentes catégories de flux financiers dans cette estimation.

Le but de cette section était de bien définir les méthodes disponibles à l'évaluation du taux d'actualisation afin de compléter la théorie financière à l'appui de notre processus. Par contre, nous n'estimerons pas ce taux qui devra être fourni par le propriétaire-dirigeant qui utilisera le processus décisionnel élaboré au prochain chapitre; Notre mémoire est centré sur la dimension évaluation du projet.

CHAPITRE IV

PROCESSUS DÉCISIONNEL

4.1 INTRODUCTION

Lorsqu'une entreprise doit décider de l'acquisition de machinerie et que cette décision a une implication économique importante relativement à la capacité financière de l'entreprise, la survie de celle-ci se retrouve en jeu. Les coûts étant importants, il est primordial de bien connaître les composantes de cette décision pour au moins agir avec des risques calculés. Le processus décisionnel est une modélisation théorique qui essaie d'englober le plus de variables pertinentes afin d'obtenir une estimation objective et un maximum d'informations nécessaires à une prise de décision éclairée.

Dans ce chapitre, nous allons dénombrer et expliquer différents flux monétaires que nous allons introduire dans le critère de la valeur actuelle nette en fiscalité canadienne. Il nous apparait que ce critère décisionnel est des plus adaptés à ce genre de décision et il est le critère valorisé par la théorie financière.

4.2 HYPOTHÈSE

L'hypothèse exploratoire est que le modèle présenté dans ce chapitre fait le lien entre la décision d'investissement et les recommandations techniques.

C'est un modèle théorique qui englobe les variables pertinentes, paramétriques et non-paramétriques nécessaire à l'obtention d'une estimation objective et un maximum d'informations utiles à la prise de décision d'acquisition d'un robot.

A l'aide du processus décisionnel élaboré, nous vérifierons auprès des gens d'affaires s'ils prennent en considération la totalité des variables recensées et si ceux-ci se sont servis de critères financiers dans leur prise de décision.

4.3 ÉQUATION

L'équation initiale du processus est celle de la V.A.N. en fiscalité canadienne. Chaque composante de cette équation sera fourni dans ce chapitre. Soulignons que les points qui ont été développés dans ce processus sont les différents coûts et les différents apports.

V.A.N.= - Différents coûts d'investissement

+ Apports nets de \$ (recettes - déboursés)

+ Allocation du coût en capital

$$\frac{CdT}{i+d} \left[\frac{1+0.5i}{1+i} \right]$$

+ Valeur de revente

± Impacts fiscaux

+ Subventions

+ Sorties de fonds évitées

≥ 0 pour être accepté.

4.4 TABLEAUX DES COÛTS

Nous allons maintenant présenter sous forme de tableaux les différents coûts dénombrés lors d'acquisition de robots. Cette partie a été tirée principalement de deux articles soient ceux de Fleisher et de Koren¹².et complétée par l'ensemble de notre réflexion.

¹ Fleisher, G.A., déjà cité, 1982.

4.4.1 Tableau des coûts A;

A- INSTALLATION ET ÉQUIPEMENT

- 1 Robot ou machinerie
- 2 Pince de manipulation
- 3 Outils associés
- 4 Capteur de position
- 5 Aménagement: Électrique, hydraulique, pneumatique
- 6 Aménagement pour l'arrivée des ébauches
- 7 Dispositif d'asservissement
- 8 Équipement de réserve
- 9 Équipement de sécurité
- 10 Espace requis
- 11 Électricité requise
- 12 Programmation
- 13 Installation
 - Temps de mise en place:
 - Salaire ouvrier
 - Perte de production
 - Modification de l'équipement existant
- 14 Taxes
- 15 Assurances

² Koren, Yoram. La robotique pour ingénieurs. McGraw Hill. 1986.

4.4.2 Tableau des coûts B

B- RESSOURCES HUMAINES

SPÉCIALISTES POUR LA MISE EN PLACE:

- Études de faisabilités
- Replanification du concept de production
- Planification de l'installation de l'équipement
- Planification de nouvelles activités de production:

Reconstruction de l'horaire

Réaffectation du personnel

Planification de la maintenance

- Supervision:

Salaires

Bénéfices marginaux

- Formation de la main-d'oeuvre:

Cadre (salaire et rémunération)

Ouvrier (salaire et rémunération)

Locaux

Recrutement et sélection

Honoraires

Avantages marginaux

Séjour

MAINTENANCE

- De la nouvelle machinerie
- Des outils
- Des logiciels

TRAVAIL SUPPLÉMENTAIRE (qui n'a pas figuré ailleurs)

- Cadre
- Ouvrier
- Opérateur

4.4.3 Tableau des coûts C

C- PRODUCTION

Réorganisation du système d'approvisionnement

- Fournisseurs
- Augmentation de la matière première en inventaire
- Réorganisation du système d'inventaire

Produits défectueux

- DéTECTÉS et à reprendre
- Non-déTECTÉS et vendus
- À jeter

4.5 TABLEAUX DES APPORTS

4.5.1 Tableau des apports 1

1. PRODUCTION

- A- Amélioration de la qualité des produits
- B- Amélioration du concept de fabrication
- C- Accroissement de la productivité (réorganisation de la production)
- D- Simplification du procédé
- E- Organisation de l'approvisionnement
- F- Contrôle de la qualité
- G- Diminution de la matière première perdue

4.5.2 Tableau des apports 2

2. RESSOURCES HUMAINES

- A- Augmentation du niveau de formation du personnel
- B- Diminution du taux de roulement
 - recrutement
 - entraînement
- C- Sécurité, accidents de travail
 - Coûts directs
 - Coûts indirects
- D- Diminution de l'absentéisme
 - Maladie
 - Maladie simulée
 - Blessures

E- Amélioration des conditions de travail

F- Remplacement du travail humain

Salaire

Prime

4.5.3 Tableau des apports 3

3. VENTES ET MARKETING

A- Image de l'entreprise

B- Ponctualité des commandes

C- Rapidité d'exécution

D- Réorganisation du canal de distribution

E- Accélération de la mise en marché pour nouveaux produits

4.6 AMORTISSEMENT

L'amortissement est une dépense de la période t , mais non un déboursé déductible des recettes pour les fins de l'impôt sur le revenu.

$$R_t = X_t - (X_t - D_t) T$$

$$= X_t (1 - T) + D_t T$$

R_t = recette nette après impôt, tirées du projet pendant la période t .

X_t = recettes avant impôt, tirées du projet pendant la période t .

D_t = montant d'amortissement déduit de X_t , pour fin du calcul de l'impôt sur le revenu.

T = taux marginal d'impôt sur les bénéfices du propriétaire du projet.

$$\text{On sait que: } \text{VAN} = \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+i)^t} - C \geq 0$$

où: VAN = valeur actualisé nette du projet.

R_t = recettes nettes après impôt (cash flow) tirées du projet pendant la période t ; $t = 1, 2, 3 \dots n$.

i = coût du capital.

C = valeur présente du montant investi dans le projet.

Alors VAN devient:

$$\sum_{t=1}^n \frac{R_t(1-T) + D_tT}{(1+i)^t} - C \geq 0$$

L'amortissement ajoute à la valeur présente nette, un montant égal au crédit d'impôt(D_tT) si le taux d'imposition est $T=0$, alors cette valeur est nulle. La somme des amortissements annuels ne peut pas dépasser la mise de fonds initiales ($D_t \leq C$).

Deux actifs de même coût, amortis à des rythmes différents, n'ont pas la même VAN.

Règle générale, l'entreprise devrait amortir le montant maximum permis à chaque année. Dans la présente, nous avons fait l'hypothèse que la dépense d'amortissement était égale à l'allocation du coût en capital (amortissement fiscal).

CHAPITRE V

VÉRIFICATION DU PROCESSUS DÉCISIONNEL

5.1 MÉTHODE UTILISÉE

Le modèle théorique que nous avons élaboré au chapitre précédent doit être confronté à la réalité décisionnelle des praticiens. Pour ce faire, nous avons construit un questionnaire que nous avons présenté à un entrepreneur ayant acquis un robot récemment. Grâce à ses commentaires (pré-test), nous avons rédigé le questionnaire final. Nous avons administré ce questionnaire à la totalité des entreprises ayant procédé à une acquisition de robot en collaboration avec l'association C.A.O./F.A.O. du Québec. Ces neuf entreprises constituent notre échantillon. Il existe certainement d'autres entreprises ayant procédé à l'acquisition d'un robot récemment. Cependant, leur nombre est probablement limité et leur processus soumis à la confidentialité car nous estimons qu'une telle acquisition constitue une décision stratégique de premier niveau.

Nous considérons que l'échantillon que nous a transmis l'association est représentatif des firmes ayant procédé à l'acquisition de robot. Nous avons fait parvenir par le courrier le questionnaire avant l'entrevue téléphonique. Nous demandions aux cadres-répondants de prendre connaissance du questionnaire et de nous confirmer leur disponibilité pour l'entrevue téléphonique. Nous avons par la suite effectué cette entrevue.

5.2 PLAN D'ANALYSE EXPÉRIMENTALE;

Chaque élément du questionnaire possédait une échelle de réponse de "pas pertinent" à "très pertinent" pour une pondération de 1 à 4. Le répondant pouvait aussi spécifier si cette question s'appliquait ou pas à leur situation spécifique. Nous avons compilé les réponses des huit répondants qui ont complété le questionnaire. Les résultats obtenus sur la pertinence des éléments composant le processus décisionnel d'acquisition de robot sont

présentés en annexe X. Dans le but de déterminer quels éléments seront retenus pour l'élaboration de notre processus décisionnel, nous procéderons à la compilation des résultats obtenus à l'aide de l'équation suivante:

$$\sum (\text{nb.de répondants} \times \text{valeur dans l'échelle}) = R$$

où R = total

et

nb = le nombre de répondants apparaissant à l'annexe X.

Pour chaque élément, la valeur dans l'échelle est:

- pas pertinent (1)
- peu pertinent (2)
- pertinent (3)
- très pertinent (4)

Le total de la compilation obtenu est présenté à l'annexe Y. Ce total va nous permettre de connaître le degré de pertinence des éléments et ainsi discriminer les éléments qui ont un intérêt pratique dans le modèle décisionnel.

Nous allons effectuer cette sélection avec l'extension de la loi normale sur les résultats de compilation obtenu. Nous avons fixé à un demi sigma ($.5\sigma$) supérieur à la moyenne, la surface occupée par notre limite. Ainsi, tout élément ayant plus de 69.2% d'aire occupé est retenu. La surface maximum étant de 32, la borne résultante de 22 ($.692 \times 32 = 22.13$)

la surface de conservation de l'élément. Les éléments dont la surface est inférieur à 22 seront donc rejetés. Les résultats obtenus sont présentés à l'annexe Y.

5.3 ANALYSE DES ÉLÉMENTS REJETÉS ET AJOUTÉS;

Dans cette partie, nous allons analyser les éléments qui ont été rejetés, et rapporter une partie des commentaires que les répondants ont pu nous exprimer lors de l'entrevue téléphonique.

Tableaux des coûts: Dans la section installation et équipement;

- Electricité requise: Pour une entreprise qui modifie son processus de production en remplaçant une machinerie par un robot, de façon générale, la variation de la consommation d'électricité est non-significative.

- Salaire ouvrier dans l'installation: Lors de l'installation, le salaire ouvrier est aussi un élément non-significatif.

- Assurances: De façon marginale, les primes d'assurances de la machinerie versus le robot ne sont pas significativement différentes.

Dans cette section, installation et équipement, un élément nouveau a été ajouté suite aux commentaires émis par les répondants soit:

- Le coût du développement du système globale (ingénierie): Après l'installation du système global, le développement de ce système est un élément non négligeable qui avait été omis dans l'ensemble des éléments.

Tableaux des coûts: Dans la section ressources humaines:

- La reconstruction de l'horaire: La reconstruction de l'horaire est une tâche continue dans une entreprise et ne peut être associée à l'acquisition d'un robot.

- Le salaire et bénéfices marginaux de la supervision: Ces éléments ont été éliminés parce que les cadres sont en général rénumérés sur une base annuelle.

- Les locaux de formation: Ceux-ci étant déjà existant dans les entreprises, marginalement leur coût est nul.

- Les avantages marginaux et les frais de séjour: Ils sont inclus dans les honoraires de ceux qui forment la main-d'œuvre.

- Le travail supplémentaire qui n'a pas figuré ailleurs: Cet item a déjà été considéré dans l'ensemble du processus.

Tableaux des coûts: Dans la section production:

- La réorganisation du système d'approvisionnement: La majorité des éléments de la réorganisation du système d'approvisionnement en production a été éliminée pour les raisons suivantes: La robotisation amène un changement dans la façon de commander la matière première. L'introduction d'un robot permet de contrôler davantage les produits défectueux en diminuant la quantité de rejet.

Dans cette section, production, un élément nouveau a été ajouté suite aux commentaires émis par les répondants. La production de masse reliée au robot augmentant les stocks de produits finis, l'élément nouveau à considérer sera:

- Augmentation des stocks de produits finis: Avant que les commandes soient livrées, on doit pouvoir utiliser une espace pour entreposer celle-ci. L'augmentation des espaces nécessaire à l'entreposage est un facteur non négligeable.

Tableaux des apports: Dans la section production;

Dans cette section, il n'y a qu'un élément qui a été rejeté;

- Organisation de l'approvisionnement: Cet élément va de soi, il ne constitue pas une tâche supplémentaire lorsqu'on utilise un robot.

Tableaux des apports: Dans la section des ressources humaines:

Dans cette section, deux éléments ont été rejetés;

- Diminution de l'absentéisme:

- Maladie:

Ces deux éléments ne sont pas significatifs. Le concept d'absentéisme est donc mieux représenté par la maladie simulée et les blessures, pour les apports de la robotisation.

Tableaux des apports: Dans la section ventes et marketing;

Dans cette section, il n'y a qu'un élément qui a été éliminé;

- La réorganisation du canal de distribution: Cet élément fait partie de la planification générale et devrait être acquis avant la planification de l'augmentation de la production due à l'introduction du robot.

5.4 LE MODÈLE FINAL;

Voici le processus décisionnel d'acquisition de robot dans sa version complète et finale, intégré au critère financier de la valeur actuelle nette canadienne tel que précisé selon notre plan d'expérimentation dans notre recherche.

V.A.N.= - les coûts initiaux + les apports + les amortissements fiscaux + la valeur de revente ± les impacts fiscaux + les subventions + les sorties de fonds évitées ≥ 0 .

V.A.N.= Les coûts initiaux sont:

- robot ou machinerie
- Pince de manipulation
- Outils associés
- Capteur de position
- Aménagement électrique, hydraulique, pneumatique
- Aménagement pour l'arrivée des ébauches
- Dispositif d'asservissement
- Équipement de réserve
- Équipement de sécurité
- Espace requis

- Programmation
- Temps de mise en place
- Perte de production lors de l'installation
- Modification de l'équipement existant
- Taxes
- Étude de faisabilité
- Replanification du concept de production
- Planification de nouvelles activités de production
- Réaffectation du personnel
- Planification de la maintenance
- Formation de la main d'œuvre-cadre
- Formation de la main d'œuvre-ouvrier
- Recrutement et sélection
- Honoraires de la formation de la main d'œuvre

Les apports (+ Recettes, - Déboursés) sont:

- Maintenance de la nouvelle machinerie
- Maintenance des outils

- Maintenance des logiciels
 - + Produits défectueux non-déTECTÉS et vendus (diminution)
 - + Produits défectueux à jeter (diminution)
 - + Augmentation du niveau de formation du personnel
 - + Diminution du taux de roulement
 - + Recrutement (diminution)
 - + Entraînement (diminution)
 - + Coût direct-sécurité, accident de travail (diminution)
 - + Coût indirect-sécurité, accident de travail (diminution)
 - + Maladie simulée (diminution)
 - + Blessure (diminution)
 - + Amélioration des conditions de travail
 - + Salaire-replacement du travail humain
 - + Prime-replacement du travail humain
 - + Amélioration de la qualité des produits
 - + Amélioration du concept de fabrication
 - + Accroissement de la productivité

- + Simplification du procédé
- + Contrôle de la qualité
- + Diminution de la matière première perdue
- + Image de l'entreprise
- + Ponctualité des commandes
- + Rapidité d'exécution
- + Accélération de la mise en marché des nouveaux produits

Autres éléments du modèle:

- + Amortissements fiscaux
 - + Valeur de revente
 - ± Impacts fiscaux
 - + Subventions
 - + Sorties de fonds évitées
- ≥ 0

5.5 EXPLICATION DES ÉLÉMENTS;

Nous allons maintenant expliquer chacune des composantes du modèle final.

Les différentes composantes du coût et des apports: Ces éléments ont été présentés dans la théorie financière du chapitre 4 et précisés par l'intermédiaire du traitement de notre questionnaire. Les différents coûts à l'investissement sont généralement les sommes d'argent investies non-récurrentes au départ lors de l'acquisition. Les apports sont les sommes récurrentes tout au long de la durée de vie du robot.

Les différents actifs sont amortissables selon la loi de l'impôt: Les taux d'allocation du coût en capital variant d'un actif à l'autre, le conseiller fiscal et le comptable de l'entreprise fourniront les informations pertinentes au processus de capitalisation et d'amortissement.

La valeur de revente: Elle dépend du taux d'usure déterminé en relation avec le taux d'amortissement comptable. La valeur de revente du robot variera selon le marché. La compagnie pourrait avoir une stratégie de remplacer le robot (échange) ou de le vendre à d'autres entreprises.

Les impacts fiscaux: Lors de la revente du robot, le fiscaliste devra estimer si l'entreprise aura des impôts à payer de gain en capital, d'impôt de récupération ou de perte terminale à la date de revente.

Les subventions: Il existe différents programmes d'aide à la robotisation tant fédéral que provincial que l'entreprise devrait consulter. Leurs traitements dans le calcul de la V.A.N. varieront selon la forme d'aide. Celles-ci peuvent être sous forme de prêt garanti, de

réduction de taux d'intérêt, de contribution à la formation du personnel ou d'une somme d'argent versée à l'entreprise par le gouvernement à l'acquisition du robot.

Les sorties de fonds évités: D'un point de vue décisionnel, l'entreprise qui acquiert un robot pour répondre à la demande du marché est susceptible d'éviter des investissements qui auraient eu lieu sans cette transaction. Les sommes ainsi évitées peuvent être rapprochées des investissements initiaux

≥ 0 : pour que le projet soit accepté, le critère décisionnel (V.A.N.) doit être plus grand ou égal à 0. Si la sommation de l'ensemble des entrées et sorties d'argent qui a été traitée dans les différents points du modèle est plus grande que 0\$, alors la valeur de l'entreprise au marché augmentera de cette valeur. Si cette somme est négative, l'entreprise doit renoncer à l'acquisition.

CONCLUSION

Nous étions préoccupés par le retard apparent de l'intégration des technologies nouvelles dans l'entreprise québécoise. Dans le but de vérifier cette intuition, nous avons effectué des recherches dans le domaine du robot industriel à l'aide d'une revue de littérature. Dans cette recherche, nous avons découvert que les dirigeants d'entreprises semblaient manquer d'expertise pour prendre une décision rationnelle. Notre but devint de mettre au point un modèle décisionnel objectif pour le support à la prise de décision d'acquérir un robot pour le gestionnaire.

Pour ce faire, nous avons fait une revue de la littérature afin d'établir ce qu'était un robot et percevoir sa complexité technologique. Suite à cette partie de la recherche, nous avons compris pourquoi le gestionnaire d'entreprise, règle générale, est dans l'insécurité face à cette décision de robotisation. A partir de la pratique managériale lors de la décision d'investissements, nous avons constaté, suite à nos lectures, que le gestionnaire fondait sa décision d'investissements selon une approche financière. Nous avons constaté l'absence de modèle de décision relié à l'expertise normale du gestionnaire. Le seul modèle identifié est celui présenté par Gérald Fleisher.

Le gestionnaire assimile la décision de robotisation à deux dimensions: La dimension technique de la décision à laquelle l'ingénierie participe et la dimension financière de la décision dans laquelle il possède l'expertise. Nous avons fait une revue des principales composantes et des critères financiers dans le but d'articuler un modèle décisionnel qui se rattache à l'expertise du gestionnaire, et ceci afin d'intégrer la dimension technique et la dimension financière.

La synthèse de ces deux dimensions à l'acquisition d'un robot a généré notre modèle décisionnel que nous avons par la suite vérifié dans ses différentes composantes auprès

d'entreprises québécoises ayant réalisé une robotisation. Suite au traitement des données, nous disposons donc d'un modèle décisionnel compréhensible par le gestionnaire lors de la décision d'acquisition d'un robot. Notre modèle présente les principaux éléments que le gestionnaire doit tenir compte lors de son évaluation de cette décision.

Il serait opportun que le modèle soit tenu à jour dans ses dimensions technologiques et financières.

Un deuxième apport de cette recherche est un processus général d'acquisition lorsque le gestionnaire ne connaît pas le domaine technique du bien à acquérir. Les étapes suivantes sont impliquées:

1. La pertinence positive et intuitive du bien à acquérir: Lorsque le domaine technique est inconnu du gestionnaire, celui-ci doit ressentir des bénéfices anticipés par une telle acquisition.
2. Les spécifications techniques: Ce sont des notions étrangères et non mesurables par le gestionnaire.
3. Les modèles décisionnels reliés à ce bien: Ce sont les modèles techniques disponibles de positionnement du bien à acquérir en terme de performance technologique..
4. Un modèle décisionnel au niveau de la compréhension du gestionnaire: Ce sont les modèles décisionnels opérationnels du gestionnaire qui a à prendre la décision.
5. La fusion des éléments 3 et 4 dans un modèle articulé: Le côté innovateur de notre recherche a été la fusion de modèles appartenant à deux sciences distinctes (robotique et finance). Lors de toute acquisition, la modélisation intégrée des deux sciences doit

s'effectuer en un système opérationnel pour que le gestionnaire puisse procéder à une décision éclairée.

6. La prise de décision: A partir du modèle intégré résultant, le gestionnaire peut procéder à la décision et intégrer celle-ci à la stratégie d'entreprise.

Notre mémoire ouvre des perspectives à d'autres recherches particulièrement dans les sous-systèmes d'estimation des recettes et des déboursés pour chaque élément du processus décisionnel. De plus, nous suggérons que des recherches soient effectuées pour la mise au point de modèles intégrant deux sphères d'activités dans les principaux champs d'application des gestionnaires de P.M.E. telles que; l'informatique, la télématique, la conception assistée par ordinateur (C.A.O.), l'environnement...

BIBLIOGRAPHIE

- Abdel-Malek, Layek. A case study on the use of robots in assembly processes dans Engineering costs & production economics (Netherlands). v9n1-3, apr 1985. Pp 99-103.
- Belzile, Réjean, Mercier, Guy et Faouzi Rassi. Analyse et gestion financière. Presse de l'université du Québec. 1989.
- Boivin, André. Évaluation financière des investissements. PECUS. 1991.
- Bonin, Claude et Claude Desrauleau. Innovation industrielle: Analyse économique.
- Bouchut, Y, Cochet, F, et J-H Jacot. Robotique industrielle et choix d'investissement. Presse universitaires de Lyon. 1984.
- Brigham, Weston. Traduit par Michel Caron. Gestion financière 2ième édition. Les éditions HRW. 1976.
- Brodeur, Murry. L'innovation au Québec: Les capacités innovatrices de l'industrie au Québec. Québec.
- Centre de production automatisé. Revue d'information. Jonquière. Vol1n1. 1 mars 1987.
- Conseil de la science et de la technologie du Québec. Les enjeux dans Sciences et Technologie conjoncture 1985. Volume 1, avril 1986.
- Conseil économique du Canada. Le recentrage technologique: Innovations, emplois, adaptation. Centre d'édition du gouvernement du Canada, Ottawa. 1988.
- Copeland, Thomas E. et J. Fred Westson. Financial theory and corporate policy. Addison-Wesley Publishing company. 1979.
- Craig, Diane. Cheap labor isn't the secret for japanese, seminar is told dans Computing Canada (Canada). v8n8, apr 15, 1982. Pp 13.
- David, Paul A.. Technical choice innovation and economic growth. 1975.
- DeGarmo, P., J. Canada et W. Sullivan. Engineering Economy. MacMillan Publishing co, sixth edition. 1979. Pp 112-115.
- Direction des études sectorielles,DGRP, MIC. Le secteur de la Machinerie et du travail du métal au Québec: importance économique analyse comparative. Enquête sur les équipements de production de l'industrie québécoise du travail du métal, Direction des biens d'équipement, MIC.

- Fédération canadienne des sciences sociales. Recherche sur la productivité pertinente au Canada: problèmes actuels et perspective. Édition Donald J. Daly. 1983.
- Fleischer, G.A.. A generalized methodology for assessing the economic consequences of acquiring robots for repetitive operations dans AIEE proceedings. 1982 conference. May 23-27, 1982. Pp 130-139.
- Gagnon, Jean-Marie et Nabil Koury. Traité de gestion financière, 3 ième édition revisée. Gaétan Morin éditeur. 1988.
- Gouvernement du Québec. L'automatisation industrielle, une obligation autant qu'un défi. MIC. 1986.
- Geffe, X.. Préface à l'administration et processus de décision de H. Simon. Paris, Economica, 1983.
- Groover, Mikell P.. Industrial robotics: technology, programming and applications. McGraw-Hill, Montréal. 1986.
- Jones, Marilyn S., Charles J. Malmborg et Marvin H. Agee. Decision support system used for robot selection dans Industrial engineering. v17n9, sep 1985. Pp 66-73.
- Kafrissen, Edward et Mark Stephans. Industrial robots and robotics. Reston. 1984.
- Koren, Yoram. La robotique pour ingénieurs. McGraw Hill, Paris. 1986.
- Lasfargue, Yves. L'avenir de la robotique. les éditions d'organisation, Paris. 1982.
- Lebas C. et A. Clerl. La PME face au défi productique pour une autre rationalité de la décision d'automatiser. Presses universitaires de Lyon. 1988.
- Lusztig, Schwab et Charest. Gestion financière. Les éditions du renouveau pédagogique Inc.. 1983.
- Macleod, Alison. The land where the robots bow dans Euromoney. October 1985, pp 93-100.
- Ministre délégué aux PME, Québec. Les PME au Québec: État de la situation. Gouvernement du Québec, M.I.C., direction des communications. 1986.
- Ministre délégué aux PME, Québec. Les PME au Québec: État de la situation. Gouvernement du Québec, M.I.C., direction des communications. 1987.
- Monico, Kenneth F.. True cost allocation in manufacturing dans Production engineering. v33n5, may 1986. Pp 38-43.
- Morissette, Denis et Wilson O'shaughnessy. Décisions financières de l'entreprise, investissement, financement et politique de dividende. Les éditions SMG.

- Nnali, Bartholomew O et Mary Yanacopoulou. A utility theory based robot selection and evaluation for electronics assembly dans Computers & industrial engineering. v14n4, 1988. Pp 477-493.
- Nollet, Kélada et Diorio. La gestion des opérations et de la production: une approche systémique. Édition Gaétan Morin. 1986.
- Page, Jean-Paul, C.F.A.. Fin 556: notes de cours. La corporation professionnelle des comptables généraux licenciés du Québec. 1988.
- Porterfield, J.T.S.. Coût du capital et choix des investissements. Dunod. 1969.
- Quirin, G. David. L'investissement. Dunod. 1973.
- Robichek, A.A. et S.C. Myers. La préparation des décisions financières. Dunod. 1969.
- Saint-Pierre, Jacques. Précis de finance. Gaétan Morin éditeur. 1980.
- Schlesinger, Robert J. et Mohammad M. Imany. Statistical investigation of robot performance specifications dans Human systems management. Elsevier science publishers B.V. (North-Holland). N6, 1986. Pp 157-165.
- Shore, Barry et Gordon D. Smith. A program to evaluate productivity investments dans Industrial engineering. v13n10, oct 1981. Pp 32-34.
- Solomon, Ezra. Théorie de la gestion financière. Dunod. 1972
- Words associated et Keith Newton. Un avenir à employer: un aperçu des technologies de pointe. Centre d'édition du gouvernement du Canada, Ottawa. 1986.
- Zeleny, Milan. Bat'a-system of management: Managerial excellence found dans Human systems mgmt (Netherlands). v7n3, 1988. Pp 213-219.
- Dictionnaire encyclopédique Quillet. Éditeur Raoul Mortier. Librairie Aristide Quillet, Paris. 1962.

ANNEXE W

QUESTIONNAIRE

EXPLICATION DU QUESTIONNAIRE

Finalité du questionnaire

Sachant que vous possédez l'expérience d'une robotisation, nous apprécierions grandement votre collaboration en répondant au questionnaire suivant.

En général, est-ce que les éléments suivants sont importants lors de la décision d'achat de robot pour n'importe quel secteur que ce soit?

Comment répondre au questionnaire

Nous aimerais savoir, premièrement, quel est le degré d'importance de l'élément, selon vous, à l'aide de l'échelle suivante:

Pas pertinent

Peu pertinent

Pertinent

Très pertinent

Deuxièmement, même si l'élément en question ne s'applique pas à votre expérience, cochez le degré d'importance de cet élément, selon vous, et cochez également la case suivante:

Ne s'applique pas

Exemple:

Pas pertinent	Peu pertinent	Pertinent	Très pertinent	Ne s'applique pas
------------------	------------------	-----------	-------------------	----------------------

- Equipement de sécurité

_____	_____	X	_____	X
-------	-------	---	-------	---

ETABLISSEMENT DES COUTS

Pas pertinent Peu pertinent Pertinent Très pertinent Ne s'applique pas

A- INSTALLATION ET EQUIPEMENT

- Robot ou machinerie
 - Pince de manipulation
 - Outils associés
 - Capteur de position
 - Aménagement électrique, hydraulique, pneumatique
 - Aménagement pour l'arrivée des ébauches
 - Dispositif d'asservissement
 - Équipement de réserve
 - Équipement de sécurité
 - Espace requis
 - Électricité requise
 - Programmation
 - Installation:
 - Temps de mise en place
 - Salaire ouvrier
 - Perte de production
 - Modification de l'équipement existant
 - Taxes
 - Assurances
 - Autres

ETABLISSEMENT DES COUTS

Pas pertinent	Peu pertinent	Pertinent	Très pertinent	Ne s'applique pas
---------------	---------------	-----------	----------------	-------------------

B- RESSOURCES HUMAINES

- Spécialistes pour la mise en place

Etudes de faisabilité	_____	_____	_____	_____	_____
Replanification du concept de production	_____	_____	_____	_____	_____
Planification de nouvelles activités de production	_____	_____	_____	_____	_____
Reconstruction de l'horaire	_____	_____	_____	_____	_____
Réaffectation du personnel	_____	_____	_____	_____	_____
Planification de la maintenance	_____	_____	_____	_____	_____

- Supervision

Salaires	_____	_____	_____	_____	_____
Bénéfices marginaux	_____	_____	_____	_____	_____

- Formation de la main d'oeuvre

Cadre	_____	_____	_____	_____	_____
Ouvrier	_____	_____	_____	_____	_____
Locaux	_____	_____	_____	_____	_____
Recrutement et sélection	_____	_____	_____	_____	_____
Honoraires	_____	_____	_____	_____	_____
Avantages marginaux	_____	_____	_____	_____	_____
Séjour	_____	_____	_____	_____	_____

- Maintenance

de la nouvelle machinerie	_____	_____	_____	_____	_____
des outils	_____	_____	_____	_____	_____
des logiciels	_____	_____	_____	_____	_____

- Travail supplémentaire (qui n'a pas figuré ailleurs)

Cadre	_____	_____	_____	_____	_____
Ouvrier	_____	_____	_____	_____	_____

- Autres

ETABLISSEMENT DES COUTS

Pas pertinent	Peu pertinent	Pertinent	Très pertinent	Ne s'applique pas
------------------	------------------	-----------	-------------------	----------------------

C- PRODUCTION

- Réorganisation du système d'approvisionnement

Fournisseurs _____

Augmentation de la matière première en stock _____

Réorganisation du système d'inventaire _____

- Produits défectueux

détectés et à reprendre _____

non détectés et vendus _____

à jeter _____

- Autres

ETABLISSEMENT DES APPORTS

Pas pertinent Peu pertinent Pertinent Très pertinent Ne s'applique pas

A- PRODUCTION

- Amélioration de la qualité des produits
 - Amélioration du concept de fabrication
 - Accroissement de la productivité
 - Simplification du procédé
 - Organisation de l'approvisionnement
 - Contrôle de la qualité
 - Diminution de la matière première perdue
 - Autres

ETABLISSEMENT DES APPORTS

	Pas pertinent	Peu pertinent	Pertinent	Très pertinent	Ne s'applique pas
--	---------------	---------------	-----------	----------------	-------------------

B- RESSOURCES HUMAINES

- Augmentation du niveau de formation du personnel _____
- Diminution du taux de roulement _____
 - recrutement _____
 - entraînement _____
- Sécurité, accidents de travail _____
 - coûts directs _____
 - coûts indirects _____
- Diminution de l'absentéisme _____
 - Maladie _____
 - Maladie simulée _____
 - Blessures _____
- Amélioration des conditions de travail _____
- Remplacement du travail humain _____
 - Salaire _____
 - Prime _____
- Autres _____

ETABLISSEMENT DES APPORTS

Pas Peu Pertinent Très Ne s'applique
pertinent pertinent pertinent pas

C- VENTES ET MARKETING

- Image de l'entreprise
 - Ponctualité des commandes
 - Rapidité d'exécution
 - Réorganisation du canal de distribution
 - Accélération de la mise en marché des nouveaux produits
 - Autres

METHODE

Maintenant que le questionnaire est complété, nous voulons savoir si dans le calcul préalable à la décision vous avez utilisé un ou plus de ces critères financiers ou encore d'autres critères.

- 1- Le délai de récupération
 - 2- Le taux de rendement comptable
 - 3- La valeur nette
 - 4- L'indice d'enrichissement
 - 5- C.R.C. (Capital recovery cost)
-
-
-
-
-
-
-
-

Est-ce que la dimension financement (subvention, taux d'intérêt, disponibilité de crédit...) lors de l'acquisition d'un robot est un obstacle important?

ANNEXE X

RÉSULTATS OBTENUS

Résultats obtenus	Pas pertinent	Peu pertinent	Pertinent	Très pertinent	ne s'applique pas
-------------------	---------------	---------------	-----------	----------------	-------------------

ÉTABLISSEMENT DES COUTS

INSTALLATION ET EQUIPEMENT

Robot ou machinerie	0	0	1	7	0
Pince de manipulation	0	1	5	2	1
Outils associés	0	2	3	3	1
Capteur de position	0	4	1	3	1
Aménagement électrique, hydraulique, pneumatique	0	0	4	4	0
Aménagement pour l'arrivée des ébauches	0	1	4	3	1
Dispositif d'asservissement	1	0	2	5	0
Équipement de réserve	1	1	2	4	1
Équipement de sécurité	0	0	3	5	0
Espace requis	0	1	3	4	0
Electricité requise	0	5	1	2	1
Programmation	0	1	3	4	1
<u>Installation:</u>					
Temps de mise en place	0	1	5	2	0
Salaire ouvrier	0	1	5	1	1
Perte de production	0	0	4	3	1
Modification de l'équipement existant	0	0	4	3	1
Taxes	1	4	3	1	1
Assurances	1	4	1	2	1

Résultats obtenus	Pas pertinent	Peu pertinent	Pertinent	Très pertinent	ne s'applique pas
-------------------	---------------	---------------	-----------	----------------	-------------------

ÉTABLISSEMENT DES COUTS**RESSOURCES HUMAINES**Spécialistes pour la mise en place:

Études de faisabilité	0	0	2	6	1
Replanification du concept de production	0	0	2	6	0
Planification de nouvelles activités de production	0	0	5	3	1
Reconstruction de l'horaire	1	5	2	0	0
Réaffectation du personnel	1	0	6	1	0
Planification de la maintenance	0	2	3	3	0

Supervision:

Salaires	1	3	3	1	1
Bénéfices marginaux	1	5	2	0	1

Formation de la main d'oeuvre:

Cadre	1	0	5	2	0
Ouvrier	0	0	1	7	0
Locaux	2	3	2	1	1
Recrutement et sélection	1	2	3	2	1
Honoraires	1	1	5	1	0
Avantages marginaux	1	3	3	1	1
Séjour	1	3	3	0	1

Maintenance:

de la nouvelle machinerie	0	0	5	3	0
des outils	0	0	5	3	0
des logiciels	0	0	4	4	0

Travail supplémentaire (qui n'a pas figuré ailleurs):

Cadre	2	3	3	0	2
Ouvrier	2	3	3	0	1

Résultats obtenus	Pas pertinent	Peu pertinent	Pertinent	Très pertinent	ne s'applique pas
-------------------	---------------	---------------	-----------	----------------	-------------------

ÉTABLISSEMENT DES COUTS

PRODUCTION

Réorganisation du système d'approvisionnement:

Fournisseurs	2	2	4	0	2
Augmentation de la matière première en stock	4	1	3	0	2
Réorganisation du système d'inventaire	4	1	3	0	2
Produits défectueux:					
détectés et à reprendre	2	1	3	2	1
non détectés et vendus	1	1	3	3	3
à jeter	1	2	3	2	2

Résultats obtenus	Pas pertinent	Peu pertinent	Pertinent	Très pertinent	ne s'applique pas
-------------------	---------------	---------------	-----------	----------------	-------------------

ÉTABLISSEMENT DES APPORTS

RESSOURCES HUMAINES

Augmentation du niveau de formation du personnel	0	1	4	3	0
Diminution du taux de roulement	1	0	3	4	1
recrutement	2	0	4	2	0
entraînement	2	0	4	2	0
Sécurité, accidents de travail	0	1	3	4	2
coûts directs	0	1	4	3	2
coûts indirects	1	1	3	3	2
Diminution de l'absentéisme	1	1	3	2	1
Maladie	2	1	3	2	2
Maladie simulée	1	1	4	2	2
Blessures	1	1	4	2	2
Amélioration des conditions de travail	0	0	3	5	1
<u>Remplacement du travail humain:</u>					
Salaire	1	0	3	4	0
Prime	1	0	4	3	1

Résultats obtenus	Pas pertinent	Peu pertinent	Pertinent	Très pertinent	ne s'applique pas
-------------------	---------------	---------------	-----------	----------------	-------------------

ÉTABLISSEMENT DES APPORTS

PRODUCTION

Amélioration de la qualité des produits	0	0	3	5	0
Amélioration du concept de fabrication	0	1	5	2	0
Accroissement de la productivité	0	0	3	5	0
Simplification du procédé	1	1	3	3	0
Organisation de l'approvisionnement	1	4	1	2	2
Contrôle de la qualité	0	0	5	3	0
Diminution de la matière première perdue	1	0	3	4	1

VENTES ET MARKETING

Image de l'entreprise	0	2	3	3	1
Ponctualité des commandes	0	1	6	1	1
Rapidité d'exécution	0	0	5	3	1
Réorganisation du canal de distribution	2	5	0	1	1
Accélération de la mise en marché des nouveaux produits	0	1	5	2	0

ANNEXE Y

RÉSULTATS COMPILÉS

Compilation des résultats	Total	Rejet
ÉTABLISSEMENT DES COUTS		
INSTALLATION ET EQUIPEMENT		
Robot ou machinerie	31	
Pince de manipulation	25	
Outils associés	25	
Capteur de position	23	
Aménagement électrique, hydraulique, pneumatique	28	
Aménagement pour l'arrivée des ébauches	26	
Dispositif d'asservissement	27	
Équipement de réserve	25	
Équipement de sécurité	29	
Espace requis	27	
Electricité requise	21	X
Programmation	27	
<u>Installation:</u>		
Temps de mise en place	25	
Salaire ouvrier	21	X
Perte de production	24	
Modification de l'équipement existant	24	
Taxes	22	
Assurances	20	X

**ÉTABLISSEMENT DES COUTS
RESSOURCES HUMAINES**

Spécialistes pour la mise en place:

Etudes de faisabilité	30	
Replanification du concept de production	30	
Planification de nouvelles activités de production	27	
Reconstruction de l'horaire	17	X
Réaffectation du personnel	23	
Planification de la maintenance	25	

Supervision:

Salaires	20	X
Bénéfices marginaux	17	X

Formation de la main d'oeuvre:

Cadre	24	
Ouvrier	31	
Locaux	18	X
Recrutement et sélection	22	
Honoraires	22	
Avantages marginaux	20	X
Séjour	16	X

Maintenance:

de la nouvelle machinerie	27	
des outils	27	
des logiciels	28	

Travail supplémentaire (qui n'a pas figuré ailleurs):

Cadre	17	X
Ouvrier	17	X

Compilation des résultats	Compilation	Rejet	132
----------------------------------	--------------------	--------------	------------

ÉTABLISSEMENT DES COUTS

PRODUCTION

Réorganisation du système d'approvisionnement:

Fournisseurs	18	X
--------------	----	---

Augmentation de la matière première en stock	15	X
--	----	---

Réorganisation du système d'inventaire	15	X
--	----	---

Produits défectueux:

détectés et à reprendre	21	X
-------------------------	----	---

non détectés et vendus	24	
------------------------	----	--

à jeter	22	
---------	----	--

Compilation des résultats Compilation Rejet 133

ÉTABLISSEMENT DES APPORTS

RESSOURCES HUMAINES

Augmentation du niveau de formation du personnel 26

Diminution du taux de roulement 26

recrutement 22

entraînement 22

Sécurité, accidents de travail 27

coûts directs 26

coûts indirects 24

Diminution de l'absentéisme 20

X

Maladie 21

X

Maladie simulée 23

Blessures 23

Amélioration des conditions de travail 29

Remplacement du travail humain:

Salaire 26

Prime 25

Compilation des résultats	Compilation	Rejet	134
----------------------------------	--------------------	--------------	------------

ÉTABLISSEMENT DES APPORTS

PRODUCTION

Amélioration de la qualité des produits	29
Amélioration du concept de fabrication	25
Accroissement de la productivité	29
Simplification du procédé	24
Organisation de l'approvisionnement	20
Contrôle de la qualité	27
Diminution de la matière première perdue	26

X

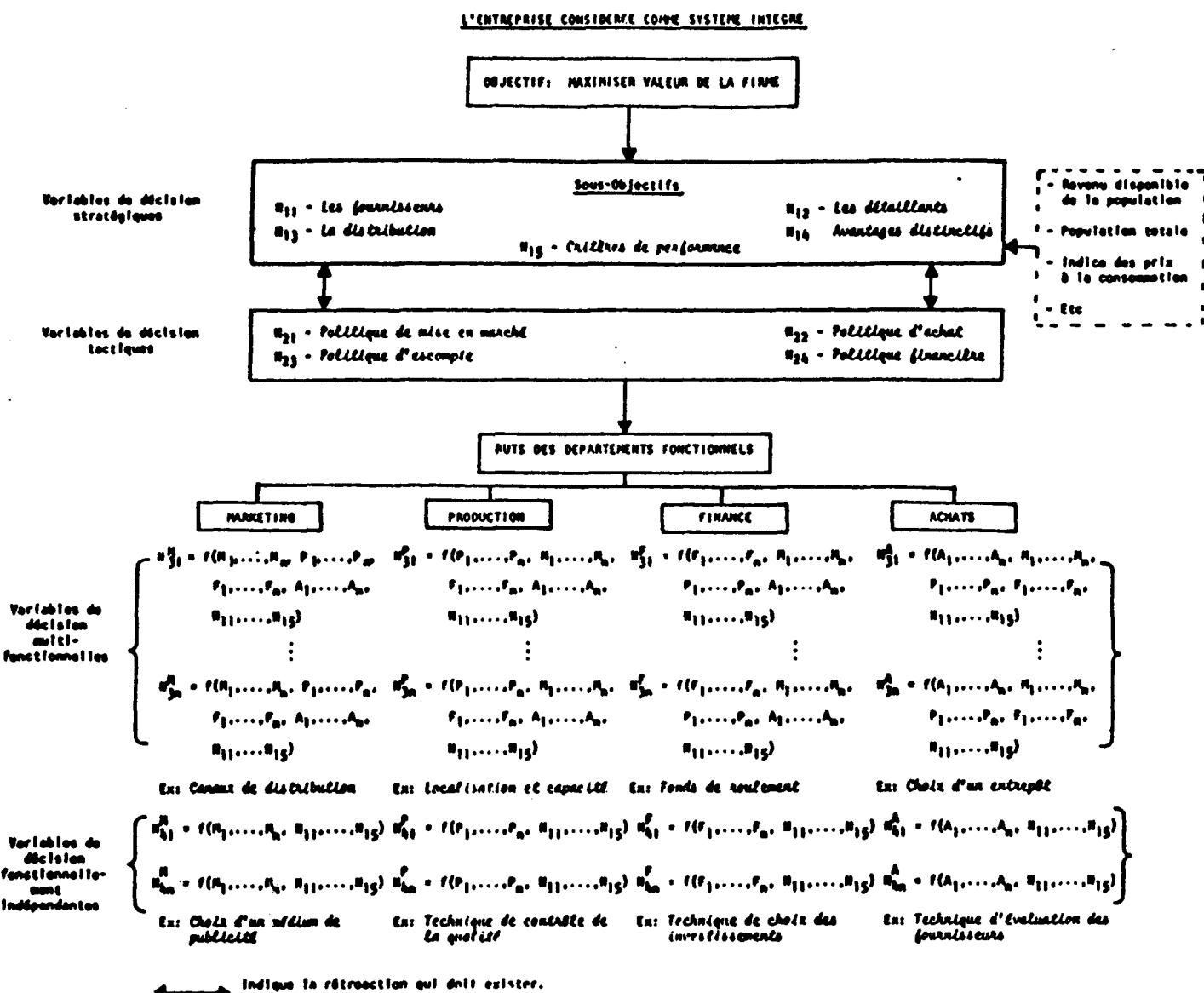
VENTES ET MARKETING

Image de l'entreprise	25
Ponctualité des commandes	24
Rapidité d'exécution	27
Réorganisation du canal de distribution	16
Accélération de la mise en marché des nouveaux produits	25

X

ANNEXE Z.1

L'ENTREPRISE COMME SYSTÈME INTÉGRÉ



LES ACTIVITÉS STRATÉGIQUES ET TACTIQUES COMME SYSTÈME

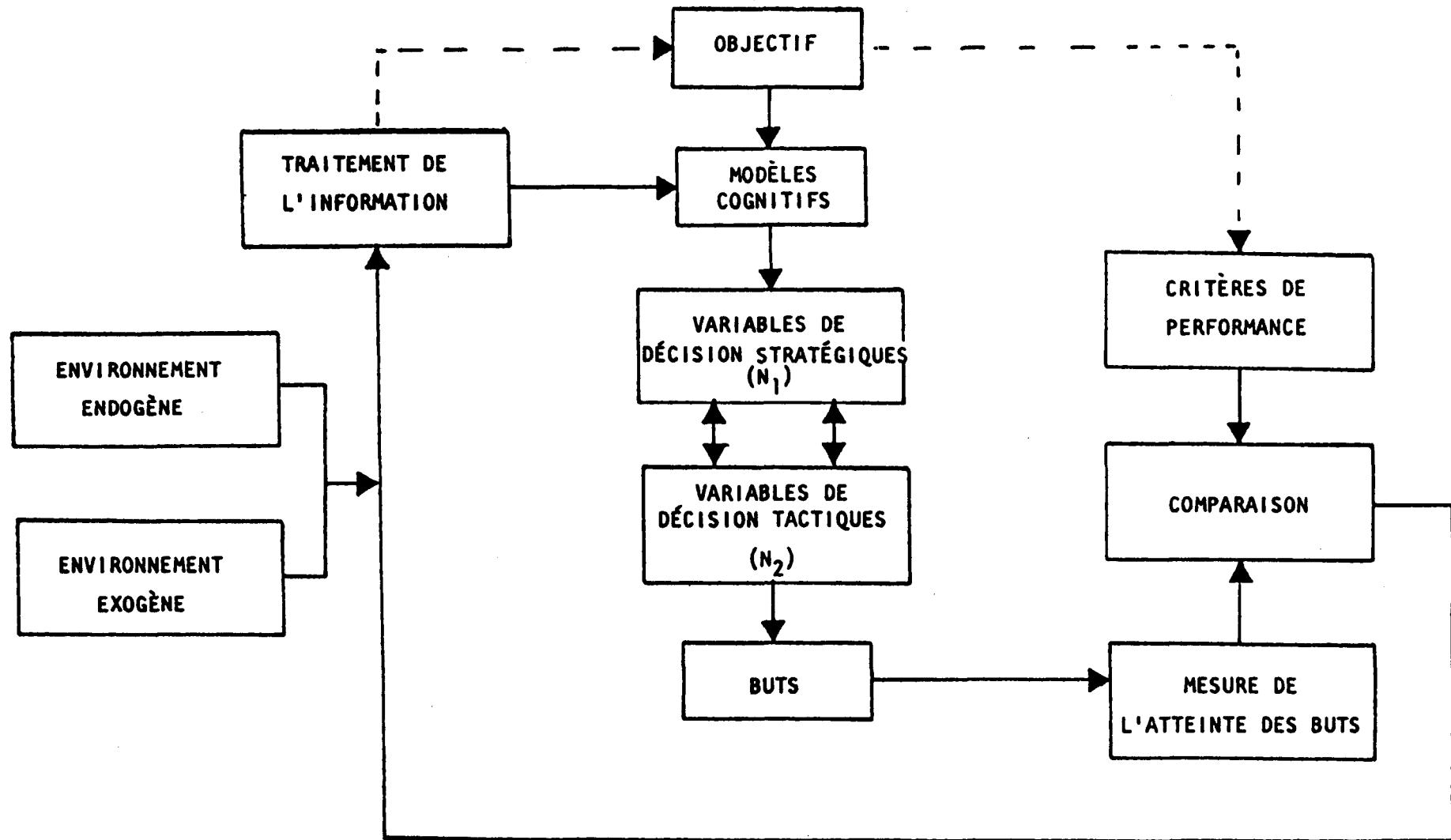


Fig. 5

LE DÉPARTEMENT FONCTIONNEL COMME SYSTÈME

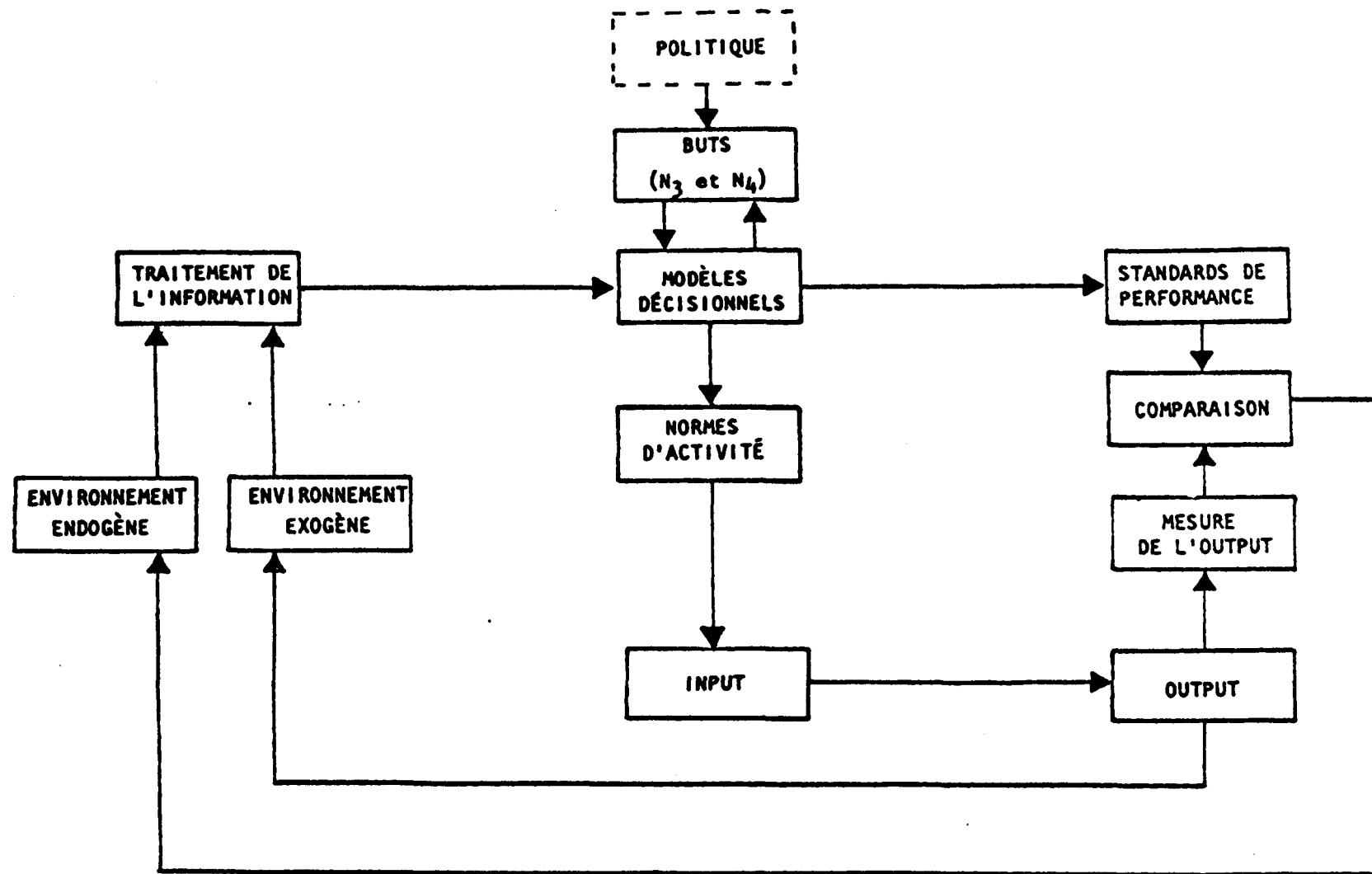


Fig. 6

ANNEXE Z.2

DÉCISION D'INVESTISSEMENT EN CONTEXTE CANADIEN

Décision d'investissement en contexte canadien

