PolyPublie
Polytechnique Montréal

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL
UNIVERSITÉ D'INGÉNIERIE

Titre: Title:	Critères d'identification des tâches à robotiser : dégagement de critères-clés d'après trois groupes de référence
Auteurs: Authors:	Laurent Villeneuve, & Diane Riopel
Date:	1985
Type:	Rapport / Report
Référence: Citation:	Villeneuve, L., & Riopel, D. (1985). Critères d'identification des tâches à robotiser : dégagement de critères-clés d'après trois groupes de référence (Technical Report n° EPM-RT-85-02). https://publications.polymtl.ca/9608/

Document en libre accès dans PolyPublie
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: PolyPublie URL:	https://publications.polymtl.ca/9608/
Version:	Version officielle de l'éditeur / Published version
Conditions d'utilisation: Terms of Use:	Tous droits réservés / All rights reserved

Document publié chez l'éditeur officiel
Document issued by the official publisher

Institution:	École Polytechnique de Montréal
Numéro de rapport: Report number:	EPM-RT-85-02
URL officiel: Official URL:	
Mention légale: Legal notice:	

Ce fichier a été téléchargé à partir de PolyPublie, le dépôt institutionnel de Polytechnique Montréal
This file has been downloaded from PolyPublie, the institutional repository of Polytechnique Montréal

https://publications.polymtl.ca

BIBLIOTHÈQUE
FEV 19 1985
ÉCOLE POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL

3F0-C2-411 (2)
207

EPM/RT-85-2

CRITERES D'IDENTIFICATION DES TACHES A ROBOTISER:

dégagement de critères-clés d'après trois groupes de référence.

Laurent Villeneuve, ing., M.Ing., professeur titulaire
Diane Riopel, ing., M.Sc.A., associée professionnelle de recherche

Département de génie industriel

Ecole Polytechnique de Montréal

Janvier 1985

TABLE DES MATIERES

	PAGE
Remerciements	i
Table des matières	ii
Introduction	1
1.0 Méthodologie	3
2.0 Groupes de référence	4
2.1 Auteurs	4
2.2 Praticiens	6
2.3 Non-initiés	9
3.0 Résultats d'analyse des trois groupes	12
3.1 Analyse de correspondance	12
3.1.1 Table des valeurs propres	13
3.1.2 Tableau des coordonnées	14
3.1.3 Plan de projection	14
3.2 Résultats des auteurs	15
3.2.1 Axe 1	16
3.2.2 Axe 2	16
3.2.3 Axe 3	18
3.2.4 Axe 4	18
3.2.5 Discussion des résultats	19
3.3 Résultats des praticiens	21
3.3.1 Axe 1	21
3.3.2 Axe 2	23
3.3.3 Axe 3	23
3.3.4 Axe 4	23
3.3.5 Discussion des résultats	24
3.4 Résultats des non-initiés	24
3.4.1 Axe 1	25
3.4.2 Axe 2	26
3.4.3 Axe 3	26
3.4.4 Axe 4	28
3.4.5 Axe 5	28
3.4.6 Discussion des résultats	28
Conclusion	30
Bibliographie	33
Annexe 1 Critères d'identification des tâches à robotiser	35
Annexe 2 Origine des auteurs	36
Annexe 3 Liste des entreprises participantes	37
Annexe 4 Renseignements sur les postes robotisés	38

REMERCIEMENTS

La présente étude a été réalisée grâce aux entreprises qui ont accordé un temps précieux à être interviewées et visitées. Nous les remercions vivement. Leur participation prouve leur intérêt à contribuer à une meilleure compréhension du monde industriel. Nous désirons souligner la participation de Marc Robillard lors des enquêtes.

Ce projet a aussi été réalisé grâce au soutien financier du Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada (A-8803).

Tous droits réservés. On ne peut reproduire ni diffuser aucune partie du présent ouvrage, sous quelque forme que ce soit, sans avoir obtenu au préalable l'autorisation écrite de l'auteur.

Dépôt légal, 1ºtrimestre 1985
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada

Pour se procurer une copie de ce document, s'adresser au :

Service de l'édition
Ecole Polytechnique de Montréal
Case postale 6079, Succursale A
Montréal (Québec) H3C 3A7
(514) 340-4903

Compter 0,05 $ par page (arrondir au dollar le plus près), plus 1,50 $ (Canada) ou 2,50 $ (étranger) pour la couverture, les frais de poste et la manutention. Régler en dollars canadiens par chèque ou mandat-poste au nom de l'Ecole Polytechnique de Montréal. Nous n'honorerons que les commandes accompagnées d'un paiement, sauf s'il y a eu entente préalable, dans le cas d'établissements d'enseignement ou d'organismes canadiens.

INTRODUCTION

Des travaux antérieurs ont permis d'inventorier vingt-six critères (voir annexe 1) pour identifier parmi les tâches qui sont actuellement effectuées par un travailleur*, celles à robotiser [1]. Ces critères ont été dégagés suite à une revue de littérature, par la comparaison de onze listes de contrôle. Ce sont les listes de contrôle à approche technologique qui ont été retenues. Celles où seulement des critères économiques sont examinés, ont été écartées. Il est possible de classifier ces vingt-six critères sous trois catégories: ergonomique, de productivité et de faisabilité technique.

Les auteurs proposent de trois à seize critères pour identifier si une tâche donnée est à robotiser. On observe aussi qu'un critère est cité par au plus huit auteurs différents. Ces quelques statistiques démontrent qu'il n'y a pas d'unanimité sur la nécessité d'utiliser tous les vingt-six critères dont plusieurs sont cités qu'une seule fois.

Suite à ces constatations, plusieurs questions se posent:

-Est-ce que tous ces critères ont la même importance?

-Est-ce que tous ces vingt-six critères sont nécessaires pour identifier les tâches à robotiser?

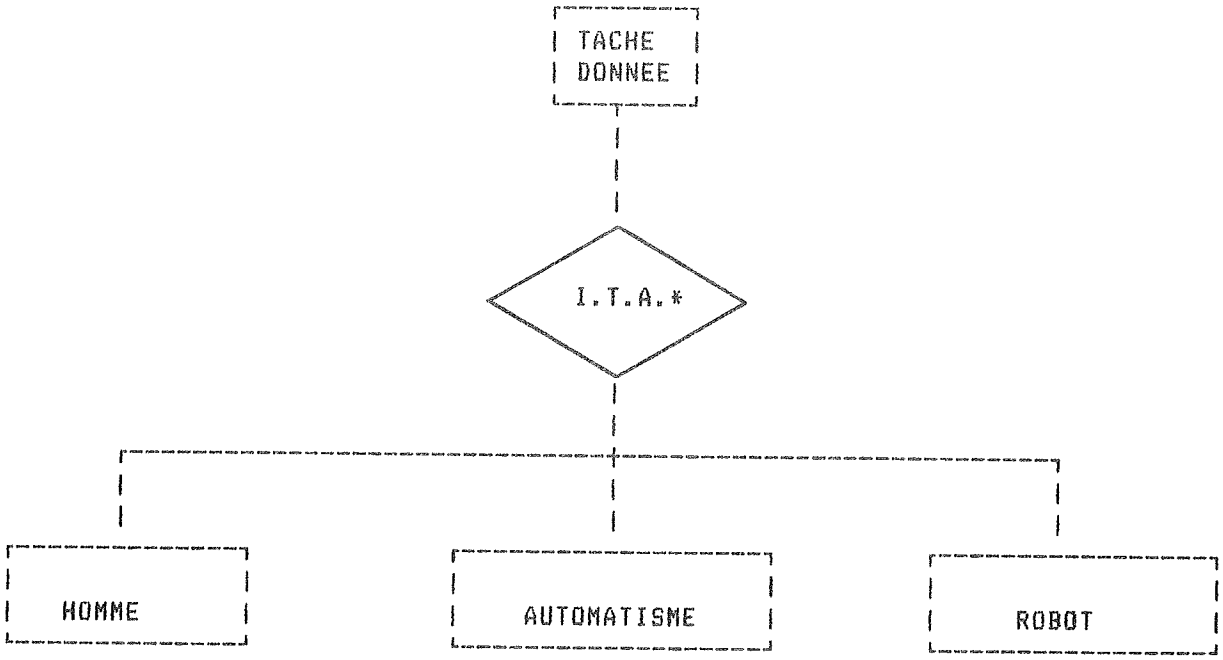
-Dans quel ordre doit-on se poser les questions?

L'objectif de ces travaux est de constituer une banque de connaissances pour modéliser le processus d'identification de tâches à automatiser (voir figure 1).

* La forme masculine, utilisée dans le texte, désigne aussi bien les femmes que les hommes.

Figure 1

Choix technologiques



*Identification des tâches à automatiser.

1. METHODOLOGIE

Pour répondre à ces interrogations, il a été décidé d'utiliser l'analyse de correspondance pour vérifier s'il est possible de réduire la liste des 26 critères et d'établir une séquence de priorité des critères retenus.

L'analyse de correspondance a non seulement utilisé les critères proposés par chacun des individus mais aussi l'ordre d'importance qu'ils leur accordent.

Les résultats de cette analyse statistique sur les rangs de priorité des auteurs sont confrontés à ceux de deux autres groupes de référence: des praticiens et des non-initiés à la robotique mais qui ont un intérêt dans ce domaine. Les praticiens choisis sont dix responsables de l'implantation de la robotique dans neuf entreprises québécoises. Ces entreprises possèdent au moins un robot en opération. Les non-initiés à la robotique sont quinze étudiants en génie. Ils ont aucune expérience pratique de robotisation mais ils ont un intérêt pour cette nouvelle technologie.

2. GROUPES DE REFERENCE

2.1 Auteurs

Lors de la revue de littérature, première source d'informations facilement accessible, onze articles ont été inventoriés [2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]. Les auteurs sont des consultants, des universitaires, des fabricants et un utilisateur (voir annexe 2).

Pour réaliser l'analyse de correspondance, il faut en plus des critères retenus par les auteurs l'ordre d'importance relative qu'ils leur accordent. Lorsque cet ordre n'est pas explicite, il a été pris comme hypothèse que la séquence d'apparition des critères dans l'article, l'indique.

Au tableau 1, on trouve l'ordre d'importance accordé aux critères d'après les auteurs (1 représente le critère le plus important).

Tableau 1

Ordre d'importance accordé aux critères d'après les auteurs

AUTEURS / CRITERES	ABAIR [2]	ALAN [3]	FLECK [4]	HIGGINS [5]	KNIGHT [6]	OSBORNE [7]	OTTINGER [8]	PURRAT [9]	ROB. INT. [10]	ROSATO [11]	RAYMOND [12]
1- RISQUE	4	3	4	9	5	5	1	-	-	3	-
2- REMPLACEMENT DE PERSONNES	2	5	-	10	-	-	-	2	3	2	4
3- ECONOMIES	7	-	5	15	-	4	-	4	-	1	9
4- TACHE DE L'OPERATEUR	1	1	-	11	4	1	2	-	-	-	-
5- POIDS A MANIPULER	-	2	-	7	2	15	5	-	6	-	-
6- INSPECTION ET QUALITE	-	4	2	5	-	-	3	-	1	-	-
7- CYCLE DE TRAVAIL	-	-	-	2	3	13	11	-	2	-	-
8- EQUIPEMENTS AUXILIAIRES	5	-	-	12	-	11	9	-	-	-	8
9- MOUVEMENTS	-	-	-	8	1	12	-	-	5	-	-
10-VARIATION DU PRODUIT	-	-	-	-	-	2	6	-	-	-	3
11-LOTS DE PRODUCTION	3	-	-	-	-	-	7	3	-	-	-
12-EFFETS POSITIFS	-	-	-	4	-	-	-	1	-	-	7
13-CONTROLE DE PROCEDE	-	-	3	1	-	10	-	-	-	-	-
14-CONTENU DE TRAVAIL	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	2
15-VIE DU PRODUIT	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	1
16-EXPERIENCE ANTERIEURE	-	-	1	16	-	-	-	-	-	-	-
17-ORIENTATION DES PIECES	-	-	-	-	-	-	4	-	4	-	-
18-ESPACE	-	-	-	-	-	7	10	-	-	-	-

Tableau 1

Ordre d'importance accordé aux critères d'après les auteurs (suite)

AUTEURS / CRITERES	ABAIR [2]	ALAN [3]	FLEICK [4]	HIGGINS [5]	KNIGHT [6]	OSBORNE [7]	OTTINGER [8]	PURDY [9]	ROBINS [10]	ROSATO [11]	RAYMOND [12]
19-FREQUENCE DE CHANGEMENTS DE PRODUCTION	-	-	-	-	-	3	8	-	-	-	-
20-MISE EN MARCHE	6	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-
21-PERSONNEL QUALIFIE DISPONIBLE	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	6
22-TAUX DE PRODUCTION	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
23-PRECISION	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-
24-INVENTAIRES	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-
25-ENERGIE	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-
26-IMPACTS SUR LE RESTE DE LA PRODUCTION	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-

2.2 Praticiens

Pour obtenir une autre opinion sur les critères d'identification, une enquête a été menée auprès des entreprises qui ont opté pour la robotisation de certaines tâches. Le Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) a fourni la liste des entreprises québécoises qui ont au moins un robot en opération dans leur usine. La personne-responsable du choix de la tâche qui fut robotisée, a été rencontrée dans chaque entreprise à l'exception de deux qui ont uniquement accepté de répondre par courrier. Les visites ont été

faites du 4 mai au 1er juin 1984. La liste des entreprises participantes ainsi que les noms des personnes qui ont répondu à cette enquête apparaît à l'annexe 3. L'annexe 4 fournit quelques détails sur les postes robotisés.

A chaque personne-responsable du choix du poste à robotiser, il a été demandé dans un premier temps de considérer la liste des 26 critères obtenus lors de la revue de littérature et de pointer ceux qu'elle avait effectivement utilisés en la complétant si nécessaire. Dans un deuxième temps, elles ont considéré seulement leurs critères et elles les ont classés par ordre décroissant d'importance (1 étant le plus important). Un résumé de l'enquête apparaît au tableau 2.

Il est à noter que l'identification de leur critère a semblé être un exercice assez facile. Par contre, l'ordonnancement des critères a semblé être un exercice beaucoup plus difficile. En général, pour les 3 premiers et pour les 3 derniers critères, le rang a été attribué assez rapidement mais pour les autres il y a eu beaucoup plus d'hésitations.

Un examen rapide des 10 réponses obtenues permet de constater qu'elles ont utilisé de 11 à 23 critères parmi les 26 et qu'il est difficile de dégager un consensus.

Tableau 2

Ordre d'importance accordé aux critères d'après les praticiens

PRATICIENS / CRITERES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1- RISQUE	-	-	-	2	-	5	3	-	-	10
2- REMPLACEMENT DE PERSONNES	2	11	11	-	-	2	18	17	-	3
3- ECONOMIES	2	4	3	15	2	1	2	1	8	2
4- TACHE DE L'OPERATEUR	4	-	-	16	6	17	-	18	18	-
5- POIDS A MANIPULER	9	-	9	-	-	8	-	10	-	4
6- INSPECTION ET QUALITE	1	3	-	1	3	3	1	3	-	-
7- CYCLE DE TRAVAIL	-	10	-	10	7	9	7	7	6	-
8- EQUIPEMENTS AUXILIAIRES	-	-	4	4	10	10	12	-	9	1
9- MOUVEMENTS	-	7	-	8	11	6	14	11	-	11
10-VARIATION DU PRODUIT	-	2	12	11	-	-	6	15	12	9
11-LOTS DE PRODUCTION	7	6	-	5	4	23	4	14	15	5
12-EFFETS POSITIFS	6	-	-	12	8	7	-	13	14	-
13-CONTROLE DE PROCEDE	5	8	-	6	9	12	16	2	17	6
14-CONTENU DE TRAVAIL	2	5	2	9	-	18	17	4	2	7
15-VIE DU PRODUIT	-	-	6	14	-	-	5	9	10	-
16-EXPERIENCE ANTERIEURE	-	-	-	-	-	21	-	-	-	-
17-ORIENTATION DES PIECES	-	-	8	17	15	13	10	12	4	8
18-ESPACE	-	-	1	-	14	11	15	-	-	-
19-FREQUENCE DE CHANGEMENTS DE PRODUCTION	-	1	13	-	-	15	9	6	11	-
20-MISES EN MARCHE	8	-	-	13	12	19	19	-	16	-

Tableau 2

Ordre d'importance accordé aux critères d'après les praticiens(suite)

PRATICIENS / CRITERES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21-PERSONNEL QUALIFIE DISPONIBLE	-	9	-	-	16	22	23	19	-	-
22-TAUX DE PRODUCTION	3	-	5	7	1	4	8	5	5	-
23-PRECISION	-	-	7	3	-	14	2	16	7	-
24-INVENTAIRES	-	-	-	18	5	20	-	-	19	-
25-ENERGIE	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-
26-IMPACTS SUR LE RESTE DE LA PRODUCTION	-	-	10	-	17	16	13	8	13	-

2.3 Non-initiés

Le troisième groupe de référence est composé d'étudiants en génie qui représentent des personnes non-initiées à des applications de robotique, mais qui ont un intérêt marqué pour cette technologie.

Dans le cadre du cours "Eléments d'automatismes industriels" (2.514) de l'Ecole Polytechnique de Montréal quinze étudiants ont répondu à la question suivante lors d'un devoir écrit: "Quels sont les points à considérer lors du choix d'un poste à robotiser? et ordonner vos critères."

Les réponses ont été plus ou moins élaborées, plus ou moins détaillées selon le degré d'imagination de chaque étudiant.

Pour pouvoir comparer les critères proposés par ce troisième groupe à ceux des deux autres groupes, chacun des éléments de réponses a été confronté à la liste des 26 critères obtenus lors de la revue de littérature [1]. Un seul critère n'est pas couvert par cette liste, soit la notion de complexité de la tâche. Ce critère a donc été ajouté à la liste de référence. Il semble relativement important pour les étudiants puisque douze des quinze en ont fait mention. Les résultats apparaissent au tableau 3.

La première analyse des réponses de ce groupe de non-initiés aux applications de la robotique permet de constater que cinq critères n'ont été cités par aucun d'entre eux, ce sont:

- contenu du travail (no 14);
- vie du produit (no 15);
- expérience antérieure (no 16);
- mises en marche (no 20);
- inventaires (no 24).

Tableau 3

Ordre d'importance accordé aux critères d'après les non-initiés

NON-INITIES / CRITERES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1- RISQUE	7	3	2	1	6	1	2	3	2	1	2	2	2	-	5
2- REMPLACEMENT DE PERSONNES	-	-	3	-	8	2	-	-	3	2	-	-	-	4	-
3- ECONOMIES	6	2	2	2	12	-	-	-	3	-	1	1	2	3	1
4- TACHE DE L'OPERATEUR	8	3	-	6	-	5	-	2	2	-	3	3	-	-	5
5- POIDS A MANIPULER	2	-	1	-	2	-	1	-	-	3	-	-	2	-	-
6- INSPECTION ET QUALITE	4	-	1	2	3	3	-	-	1	3	4	4	-	3	4
7- CYCLE DE TRAVAIL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
8- EQUIPEMENTS AUXILIAIRES	-	-	-	6	10	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-
9- MOUVEMENTS	-	-	2	-	2	-	1	-	-	-	-	-	2	-	-
10-VARIATION DE PRODUIT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	5	-
11-LOTS DE PRODUCTION	1	-	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12-EFFETS POSITIFS	-	-	2	6	5	-	2	-	3	-	-	-	2	-	-
13-CONTROLE DE PROCEDE	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14-CONTENU DE TRAVAIL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15-VIE DU PRODUIT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16-EXPERIENCE ANTERIEURE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 3

Ordre d'importance accordé aux critères d'après les non-initiés(suite)

NON-INITIES / CRITERES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
17-ORIENTATION DES PIECES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-
18-ESPACE	-	-	3	4	9	-	-	2	-	6	-	-	-	-	-
19-FREQUENCE DE CHANGEMENTS DE PRODUCTION	-	-	2	4	11	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-
20-MISES EN MARCHE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21-PERSONNEL QUALIFIE DISPONIBLE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	2
22-TAUX DE PRODUCTION	-	-	-	2	1	6	1	2	1	-	-	5	1	1	-
23-PRECISION	-	-	1	3	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24-INVENTAIRES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25-ENERGIE	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-
26-IMPACTS SUR LE RESTE DE LA PRODUCTION	5	-	4	6	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27-COMPLEXITE DE LA TACHE	3	1	2	4	4	-	2	1	1	4	-	-	2	2	3

3. RESULTATS D'ANALYSE DES TROIS GROUPES

3.1 Analyse de corresondance

L'analyse de correspondance [13] [14], technique statistique, permet d'étudier un tableau à deux dimensions de nombres entiers positifs pour découvrir les faits de structure qu'il recèle. Cette analyse peut traiter simultanément des informations concernant un grand nombre de dimensions

offrant plus de possibilités que la comparaison systématique de variables prises deux à deux. C'est un outil graphique pour représenter les données et pour apporter une aide à l'interprétation de ces tableaux.

L'analyse de correspondance définit, décrit et interprète des données par une structure géométrique. Elle définit premièrement un nuage de points dans un espace vectoriel multi-dimensionnel, deuxièmement une structure métrique sur cet espace et troisièmement ajuste ce nuage à une variable d'un sous-espace bi-dimensionnel sur lequel les points sont projetés pour la représentation et l'interprétation.

Pour effectuer cette analyse, une version toute récente sur progiciel SAS conçu par M. B. Clément, professeur titulaire au département de Mathématiques appliquées à l'Ecole Polytechnique de Montréal [15] a été employée. Le problème principal réside dans l'interprétation des résultats obtenus.

Les principaux résultats produits par ce programme sont les suivants:

1- Tableau des valeurs propres

2- Tableau des coordonnées

3- Plan de projection

3.1.1 Table des valeurs propres

Par l'examen de la suite décroissante des valeurs propres, il est possible de décider du nombre d'axes à interpréter. Généralement, les 3 ou 4 plus grandes valeurs propres (les lambda) expliquent de 70 à 90% de l'ensemble de la structure des données.

3.1.2 Tableau des coordonnées

Ce tableau donne les éléments suivants:

- critères (VAR)
- masses (MASS)
- inerties (INER)
- coordonnées (COORD) pour les six premiers axes
- contributions relatives (CTREL) pour les six premiers axes
- cosinus carré (COS2) pour les six premiers axes

Avec les contributions relatives des critères et le signe des coordonnées il est possible de dégager le sens d'un axe. On recherche les grandes valeurs des contributions relatives pour les points de coordonnées positives ainsi que pour les points de coordonnées négatives. Pour interpréter un axe, il faut dégager ce qui est commun aux points de coordonnées positives avec contribution relative élevée. Il est fait de même avec les points à coordonnées négatives et il s'agit alors d'exprimer avec concision et exactitude l'opposition entre les deux.

Les premiers axes expliquent la structure générale des données. Au-delà des premiers axes, il apparaît des phénomènes locaux impliquant quelques points avec une grande valeur de cosinus carré. Un point est bien expliqué par un axe si le cosinus carré est supérieur à 0,80.

3.1.3 Plan de projection

Le plan de projection est une représentation visuelle des résultats obtenus via les tableaux de valeurs propres et de coordonnées. Il est donné selon deux axes et comporte quatre cadrans. Plus un critère se trouve près de

l'axe principal, soit l'axe des x, plus ce critère est important car il a une contribution relative et une valeur de coordonnées (en valeur absolue) élevées.

3.2 Résultats des auteurs

Le tableau des valeurs propres de l'analyse de correspondance (voir Tableau 4) indique que les quatre premiers axes expliquent 74,58% des données et que les axes 1 et 2 sont les plus importants. Il s'agit de décrire ces 4 axes.

Tableau 4

Résultats des auteurs
Valeurs propres

Numéro des axes	Lambda	Pourcent	Pourcent cumulé
1	0.048	28.09	28.09
2	0.040	23.25	51.34
3	0.021	12.19	63.53
4	0.019	11.05	74.58
5	0.015	8.97	83.55
6	0.012	6.82	90.38
7	0.007	3.89	94.27
8	0.004	2.28	96.55
9	0.004	2.16	98.71
10	0.002	1.29	100.00
	=======	=======	
	0.172	100.00	

3.2.1 Axe 1

L'examen du tableau des coordonnées fait ressortir pour cet axe quatre critères (voir Tableau 5): tâche et risque pour les coordonnées négatives, remplacement de personnes et effets positifs pour les coordonnées positives. Ils ont des contributions relatives et des cosinus carrés élevés ce qui signifie qu'ils représentent très bien l'axe 1 et en plus ils se détachent nettement des autres.

L'interprétation n'est pas facile mais il est possible de regrouper les critères tâche, risque et remplacement de personnes et de les associer à une catégorie de critères ergonomiques et le critère effets positifs appartiendrait à la catégorie des critères de productivité.

Donc l'axe 1 indique que l'aspect ergonomique de la tâche est très important pour les experts en robotique.

3.2.2 Axe 2

Cet axe est aussi défini par quatre critères (voir Tableau 5). Ils sont:

- inspection et qualité
- cycle de travail
- poids à manipuler
- économies

Tableau 5

Résultats des auteurs

Coordonnées et contributions relatives

(INER % COORD 100:1 CTREL % COS2 100:1)

VARTYP=IPRINC

VAR	MASS	INER	COORD 1	COORD 2	COORD 3	COORD 4	COORD 5	COORD 6	CTR AXE 1	CTR AXE 2	CTR AXE 3	CTR AXE 4	CTR AXE 5	CTR AXE 6	COS2 1	COS2 2	COS2 3	COS2 4	COS2 5	COS2 6
C01	0.022	7.5	-58.0	8.7	-15.7	-37.3	2.7	12.2	15.1	0.4	2.6	15.9	0.1	2.7	56.9	1.3	4.2	23.5	0.1	2.5
C02	0.026	9.4	59.2	-4.7	-42.3	3.5	8.8	-16.6	18.8	0.1	22.0	0.2	1.3	6.1	55.9	0.4	28.5	0.2	1.2	4.4
C03	0.029	6.0	22.1	43.3	6.9	-28.0	-5.8	-17.0	2.9	13.6	0.7	12.0	0.6	7.2	13.7	52.6	1.3	22.0	0.9	8.1
C04	0.026	8.8	-61.4	12.2	-20.4	-0.2	34.0	10.7	20.4	1.8	5.2	0.9	19.6	2.5	65.0	2.6	7.2	0.0	19.9	2.0
C05	0.031	5.6	-29.1	-40.5	-4.3	16.2	7.5	-1.1	5.4	12.6	0.3	4.2	1.1	0.6	27.0	52.2	0.6	8.4	1.8	0.0
C06	0.030	8.1	-11.4	-51.4	-8.8	-7.8	-36.1	13.1	0.8	20.2	1.1	1.0	25.7	4.5	2.8	57.9	1.7	1.3	28.5	3.8
C07	0.033	5.1	-11.3	-39.2	16.3	10.4	12.3	-14.8	0.9	12.8	4.2	1.9	3.3	6.2	4.8	58.4	10.1	4.1	5.7	8.3
C08	0.036	1.9	-0.2	13.3	-7.2	3.3	10.5	46.7	0.0	1.6	0.9	0.2	2.6	8.6	0.0	19.5	5.7	1.2	12.1	30.5
C09	0.037	3.9	-6.1	-23.8	17.8	6.6	15.2	-23.3	0.3	5.2	5.6	0.9	5.5	17.1	2.0	30.9	17.3	2.4	12.5	29.7
C10	0.037	4.7	-9.4	30.9	13.3	25.0	-8.8	13.9	0.7	8.9	3.2	12.4	1.9	6.1	4.2	44.6	8.3	29.3	3.6	9.8
C11	0.040	4.7	2.0	10.5	-37.2	-1.6	-2.8	-3.7	0.0	1.1	26.1	0.1	0.2	0.5	0.2	5.4	67.4	0.1	0.4	0.7
C12	0.038	4.6	35.5	-9.0	3.2	-1.8	9.4	5.2	10.1	0.8	0.2	0.1	2.2	0.9	60.8	3.9	0.5	0.2	4.3	1.3
C13	0.038	4.2	1.2	-11.8	25.8	-30.6	-0.3	5.1	0.0	1.3	12.1	18.7	0.0	0.6	0.1	7.4	35.5	49.9	0.0	1.4
C14	0.044	2.3	23.0	0.9	4.7	9.1	1.8	13.0	4.8	0.0	0.5	1.9	0.1	6.3	59.2	0.1	2.5	9.3	0.4	18.9
C15	0.040	4.2	29.5	-10.8	12.5	3.6	11.5	21.5	7.3	1.2	3.0	0.3	3.5	15.9	48.9	6.5	8.8	0.7	7.5	26.0
C16	0.044	2.5	5.4	-6.3	3.9	-20.5	-17.1	0.6	0.3	0.4	0.3	9.8	8.4	0.0	2.9	4.0	1.5	42.5	29.6	0.9
C17	0.043	3.4	-8.5	-12.3	-15.6	17.5	-21.5	-5.3	0.6	1.6	4.9	6.9	12.7	1.0	5.3	11.0	17.6	22.4	33.7	2.0
C18	0.044	1.5	-16.2	13.8	2.3	5.3	-6.6	-3.6	2.4	2.1	0.1	0.6	1.2	0.5	45.7	33.2	0.9	4.8	7.6	2.2
C19	0.042	2.6	-22.1	18.4	5.3	7.0	-7.1	-3.4	4.3	3.6	0.6	1.1	1.4	0.4	46.6	32.2	2.7	4.6	4.8	1.1
C20	0.043	2.3	8.8	-10.5	-10.3	-16.2	16.6	3.2	0.7	1.2	2.1	5.9	7.6	0.4	8.2	11.7	11.1	27.8	29.1	1.1
C21	0.043	1.8	6.8	19.1	10.4	11.1	-1.5	0.9	0.4	3.9	2.2	2.8	0.1	0.8	6.5	50.4	15.1	17.1	0.3	0.1
C22	0.046	1.7	16.6	6.6	-0.9	10.3	-4.1	5.7	2.6	0.5	0.0	2.6	0.5	1.3	42.6	6.8	0.1	16.4	2.6	5.1
C23	0.048	0.4	-1.8	6.8	0.3	-0.3	-2.7	-7.7	0.0	0.5	0.0	0.0	0.2	2.4	2.3	33.0	0.1	0.0	5.1	42.8
C24	0.047	0.4	5.7	-7.9	-1.4	-5.5	2.1	-1.2	0.3	0.7	0.0	0.8	0.1	0.1	22.3	42.7	1.4	20.8	2.9	1.8
C25	0.046	1.0	-6.4	12.9	5.8	0.2	-1.4	-10.0	0.4	1.9	0.8	0.0	0.1	3.9	10.9	44.2	9.1	0.0	0.5	26.4
C26	0.046	1.4	-8.0	15.0	7.8	0.4	-0.9	-10.7	0.6	2.6	1.3	0.0	0.0	4.5	12.6	44.0	11.8	0.0	0.2	22.5

Tous ces critères sont très bien représentés. Ici aussi il est possible de regrouper les critères. Inspection et qualité et économies font partie de la catégorie des critères de productivité et les critères cycle de travail et poids à manipuler de la catégorie des critères de faisabilité technique.

3.2.3 Axe 3

Pour l'axe 3, trois critères sont retenus. Du côté des coordonnées négatives, il est considéré lots de production et remplacement de personnes et du côté des coordonnées positives contrôle de procédé. Il est à noter que le critère remplacement de personnes est déjà apparu dans l'axe 1.

3.2.4 Axe 4

L'axe 4 est représenté par quatre critères. Les coordonnées négatives en donnent trois et les coordonnées positives un:

- contrôle de procédé;
- risque;
- économies;
- variation du produit.

Les trois premiers sont apparus respectivement dans les axes 3, 1 et 2; le seul élément nouveau est variation du produit.

3.2.5 Discussion des résultats

Les axes de chaque plan sont dessinés à partir des critères les plus prédominants, c'est-à-dire que seulement les critères que les auteurs considèrent le plus. Le premier axe, représente les sujets sur lesquels les auteurs s'entendent le plus, le deuxième axe représente les sujets ils s'entendent le plus après ceux du premier et ainsi de suite.

De l'axe 1, quatre critères le décrivent soit la tâche, le risque, le remplacement de personnes et les effets positifs. Les trois premiers sont des critères de la catégorie ergonomique. Donc l'axe 1 a un caractère ergonomique prononcé. Il semble donc que les auteurs accordent une grande importance à l'aspect ergonomique de la tâche, au bien-être des travailleurs et à leur sécurité.

L'axe 2 est décrit par quatre critères: inspection et qualité, économies, cycle de travail et poids à manipuler. Les deux premiers sont des éléments de productivité et les deux derniers des éléments de faisabilité technique. Il n'est pas distingué de catégorie prédominante. Les auteurs semblent accorder une importance à deux mesures de productivité la qualité et les profits et la faisabilité technique est évaluée par les points faibles de cette technologie.

Si des axes 3 et 4 sont éliminés les critères contenus dans les autres axes, les axes 3 et 4 sont alors constitués que par des critères à caractère productif.

En résumé pour les experts en robotique, des critères ergonomiques sont considérés en premier lieu suivis de critères de productivité et de faisabilité technique pour terminer par d'autres éléments de productivité. Ainsi des vingt-six critères inventoriés au début, il n'en reste que onze qui peuvent être classés comme suit:

Tableau 6

Classement des critères d'après les auteurs

Critères	Catégories	Filtres	Classement*
Tâche	Ergonomique	1	A
Risque	Ergonomique	1	A
Remplacement de personnes	Ergonomique	1	A
Effets positifs	Productivité	1	A
Inspection et qualité	Productivité	2	E
Economies	Productivité	2	E
Cycle de travail	Faisabilité technique	2	E
Poids à manipuler	Faisabilité technique	2	E
Lot de production	Productivité	3	I
Contrôle de procédé	Productivité	3	I
Variation du produit	Productivité	4	O

* Classement
A : absolument important
E : extrêmement important
I : important
O : ordinairement important
U : ordinaire

3.3 Résultats des praticiens

Pour ce groupe de référence, le tableau des valeurs propres (voir Tableau 7) indique que 71,6% des données sont expliquées par les quatre premiers axes.

3.3.1 Axe 1

L'axe 1 est très bien défini par seulement 2 variables (voir Tableau 8); à l'extrémité des coordonnées positives par inspection et qualité et à l'extrémité des coordonnées négatives par contenu de travail. Ces deux points appartiennent à la catégorie productivité.

Tableau 7

Résultats des praticiens
Valeurs propres

Numéro des axes	Lambda	Pourcent	Pourcent cumulé
1	0.057	25.31	25.31
2	0.038	17.20	42.51
3	0.035	15.81	58.32
4	0.030	13.31	71.63
5	0.024	10.68	82.31
6	0.018	7.97	90.27
7	0.010	4.48	94.76
8	0.007	3.35	98.10
9	0.004	1.90	100.00
	0.224	100.00	

Tableau 8

Résultats des praticiens

Coordonnées et contributions relatives

(INER % COORD 100:1 CTREL % COS2 100:1)

VARTYP=IPRINC

VAR	MASS	INER	COORD 1	COORD 2	COORD 3	COORD 4	COORD 5	COORD 6	CTREL 1	CTREL 2	CTREL 3	CTREL 4	CTREL 5	CTREL 6	COS2 1	COS2 2	COS2 3	COS2 4	COS2 5	COS2 6
C01	0.041	5.7	11.0	18.1	-7.5	-38.1	-23.5	-20.2	0.9	3.5	0.6	20.0	9.5	9.4	3.9	10.6	1.8	66.6	17.8	13.2
C02	0.037	5.9	-6.0	-46.2	20.1	-25.4	-2.5	-10.3	0.2	20.7	4.2	8.0	0.1	2.2	1.0	60.6	11.4	18.2	0.2	3.0
C03	0.011	5.3	0.9	-72.0	31.1	20.6	-43.4	40.3	0.0	15.3	3.1	1.6	8.9	10.4	0.0	49.6	9.2	4.1	18.0	15.6
C04	0.045	2.4	18.5	-12.6	-11.4	6.0	20.9	7.6	2.7	1.9	1.7	0.6	8.3	1.5	28.8	13.3	10.8	3.0	36.5	4.9
C05	0.042	4.0	-15.0	-36.8	9.7	-12.0	0.4	-9.6	1.7	14.9	1.1	2.0	0.0	2.2	10.8	64.5	4.5	0.8	0.0	4.4
C06	0.022	11.3	97.6	9.8	18.3	11.8	-17.9	-25.5	36.7	0.5	2.1	1.0	2.9	8.0	82.3	0.8	2.9	1.2	2.8	5.6
C07	0.032	3.5	17.5	25.0	-6.9	22.0	-17.3	1.6	1.7	5.2	0.4	5.2	4.0	0.0	12.7	25.8	1.9	20.1	12.4	0.1
C08	0.031	5.7	-27.6	12.2	-34.4	-42.8	-0.9	9.7	4.2	1.2	10.5	19.2	0.0	1.6	18.8	3.6	29.2	45.1	0.0	2.3
C09	0.037	2.7	23.6	4.7	10.6	-16.2	-13.0	-6.2	3.6	0.2	1.2	3.2	2.6	0.8	33.4	1.3	6.7	15.6	10.0	2.3
C10	0.037	4.5	-21.4	34.5	30.6	-6.0	-0.7	5.3	3.0	11.6	9.9	0.5	0.0	0.6	16.8	43.9	34.5	1.3	0.0	1.0
C11	0.029	5.5	26.6	34.9	18.6	-15.7	21.8	29.4	3.6	8.8	2.9	2.4	5.8	14.1	16.9	27.6	8.3	5.9	11.3	20.6
C12	0.040	2.7	21.4	-16.3	-18.3	7.2	13.9	-8.6	3.2	2.8	3.8	0.7	3.2	1.6	30.1	17.5	22.0	3.4	12.6	4.8
C13	0.029	3.6	29.8	-4.2	22.1	-3.3	26.6	-9.6	4.5	0.1	4.0	0.1	7.2	1.5	31.6	0.6	17.4	0.4	21.4	3.3
C14	0.025	7.3	-51.4	-1.6	28.7	18.9	43.8	-27.0	11.6	0.0	5.8	3.0	20.1	10.2	40.5	0.0	12.6	5.5	29.5	11.2
C15	0.042	4.0	-26.7	22.8	-0.8	19.1	-9.3	-4.3	8.2	5.6	0.0	5.1	1.5	0.4	32.9	24.1	0.0	16.8	4.0	0.8
C16	0.060	0.1	-2.9	-2.5	2.5	-2.5	2.1	1.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	18.9	14.3	13.9	13.8	9.5	4.3
C17	0.035	2.6	-31.2	3.8	-11.7	3.0	-10.9	7.6	6.0	0.1	1.4	0.1	1.7	1.2	58.4	0.9	8.2	0.9	7.1	3.7
C18	0.047	3.1	-13.8	-14.1	-13.5	-3.1	-18.5	7.3	1.6	2.4	2.4	0.1	6.7	1.4	13.1	13.6	12.4	0.6	23.3	3.6
C19	0.039	4.4	-14.2	8.7	32.5	25.1	-19.5	-3.0	1.4	0.8	11.5	8.2	6.1	0.2	8.0	3.0	41.3	24.7	14.8	0.4
C20	0.048	1.3	9.6	1.4	-10.7	-1.3	15.4	3.3	0.8	0.0	1.6	0.0	4.7	0.3	15.4	0.3	19.2	0.3	39.6	1.8
C21	0.054	1.0	2.8	-0.3	12.2	2.7	3.9	8.6	0.1	0.0	2.3	0.1	0.3	2.3	2.0	0.0	37.3	1.9	3.8	18.8
C22	0.022	6.0	16.9	-14.7	-59.8	42.3	-3.0	-10.3	1.1	1.2	21.8	12.9	0.1	1.3	4.6	3.5	57.4	28.7	0.1	1.7
C23	0.041	3.6	-21.8	16.5	-21.5	0.3	7.1	-25.0	3.4	2.9	5.3	0.0	0.9	14.4	23.9	13.7	23.2	0.0	2.5	31.5
C24	0.052	1.6	9.3	0.6	-12.7	0.1	7.3	17.2	0.8	0.0	2.4	0.0	1.2	8.7	12.7	0.1	23.8	0.0	7.9	44.8
C25	0.058	0.6	2.1	-0.5	-1.3	0.4	6.1	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	5.5	1.9	0.1	0.6	0.1	10.0	73.9
C26	0.044	1.7	-14.5	-3.0	-1.7	19.8	-12.9	1.1	1.6	0.1	0.0	5.8	3.1	0.0	24.7	1.0	0.3	46.1	19.5	0.1

3.3.2 Axe 2

Trois critères définissent cet axe (voir Tableau 8):

Coordonnées positives:

- variation du produit;
- lot de production.

Coordonnées négatives

- économies.

Ils font tous partie de la catégorie productivité.

3.3.3 Axe 3

Il est décrit lui aussi par trois critères (voir Tableau 8):

Coordonnées positives:

- fréquence des changements anticipés;
- variation du produit.

Coordonnées négatives:

- taux de production.

Eux aussi, ils font partie de la catégorie productivité. Il est à remarquer que le critère variation du produit est apparu dans l'axe 2.

3.3.4 Axe 4

A l'extrémité positif de l'axe, il y a le critère taux de production et à l'autre extrémité les critères équipements auxiliaires et risque.

3.3.5 Discussion des résultats

L'axe 1 est très important, à lui seul il explique 25,3% des données. Il est de fait le plus imposant. Deux critères le définissent: inspection et qualité et contenu de travail. La juxtaposition de ces deux critères amène une nouvelle formulation qui peut être: est-ce que l'inspection et la qualité occupent une part importante dans le contenu de travail de la tâche? Ou encore, en robotisant la tâche, c'est-à-dire en diminuant le contenu de travail effectué par l'homme, y a-t-il potentiel d'améliorer la qualité des extrants?

Les axes 2, 3 et 4 sont reliés entre eux. Il est frappant de constater que les critères les définissant font partie de la catégorie des critères de productivité. C'est seulement à une extrémité du quatrième axe que l'on retrouve un critère de la catégorie économique. Il apparaît aucun critère de faisabilité technique. Cet aspect semble pour ces entreprises de moindre importance.

En résumé pour les 10 praticiens québécois consultés, ce sont les critères de productivité qui justifient leur choix. Ils évaluent en premier le potentiel d'amélioration de leur système de production. Le Tableau 9 présente le classement de neuf critères retenus.

3.4 Résultats des non-initiés

Avec ce groupe, il faut utiliser les cinq premiers axes pour expliquer 77,5% des informations, quatre axes donnent que 67,9% (voir Tableau 10). L'examen de ces axes procure les renseignements suivants.

Tableau 9

Classement des critères d'après les praticiens

Critères	Catégories	Filtres	Classement*
Inspection et qualité	Productivité	1	A
Contenu de travail	Productivité	1	A
Variation du produit	Faisabilité technique	2	E
Lot de production	Productivité	2	E
Economies	Productivité	2	E
Fréquences des changements anticipés	Productivité	3	I
Taux de production	Productivité	3	I
Equipements auxiliaires	Productivité	4	O
Risque	Ergonomique	4	O

* Classement
A : absolument important
E : extrêmement important
I : important
O : ordinairement important
U : ordinaire

3.4.1 Axe 1

L'axe 1 distingue trois critères (voir Tableau 11):

- tâche de l'opérateur (coordonnées négatives);
- poids à manipuler (coordonnées positives);
- mouvements (coordonnées positives).

Les étudiants accordent en premier une importance à la faisabilité technique et à l'aspect ergonomique de la tâche.

Tableau 10

Résultats des non-initiés
Valeurs propres

Numéro des axes	Lambda	Pourcent	Pourcent cumulé
1	0.062	24.54	24.54
2	0.045	17.90	42.44
3	0.040	15.62	58.06
4	0.025	9.86	67.92
5	0.024	9.59	77.51
6	0.018	7.14	84.65
7	0.012	4.74	89.39
8	0.010	4.14	93.53
9	0.007	2.85	96.37
10	0.004	1.42	97.79
11	0.003	1.13	98.92
12	0.001	0.55	99.47
13	0.001	0.43	99.91
14	0.001	0.10	100.00
	0.253	100.00	

3.4.2 Axe 2

L'axe 2 est décrit par deux critères (voir Tableau 11):

- inspection et qualité;
- taux de production.

C'est un axe de productivité.

3.4.3 Axe 3

Cet axe est défini lui aussi par deux critères (voir Tableau 11):

- économies;
- taux de production.

Ce dernier critère est une des extrémités de l'axe 2.

Tableau 11

Résultats des non-initiés

Coordonnées et contributions relatives

(INER % CCORD 100:1 CYREL % COS2 100:1)

VARTYP=PRINC

VAR	MASS	INER	CORD 1	CORD 2	CORD 3	CORD 4	CORD 5	CORD 6	CTRE 1	CTRE 2	CTRE 3	CTRE 4	CTRE 5	CTRE 6	COS2 1	COS2 2	COS2 3	COS2 4	COS2 5	COS2 6
C01	0.015	5.1	-10.6	0.2	0.7	25.7	81.0	-10.2	0.3	0.0	0.0	3.9	39.7	0.8	1.3	0.0	0.0	7.4	74.2	1.2
C02	0.043	5.2	5.7	-32.0	6.4	20.0	-24.7	-5.7	0.2	9.8	0.5	7.0	10.9	0.8	1.1	34.1	1.4	13.4	20.3	1.1
C03	0.027	9.5	-23.4	29.7	-71.6	-38.0	-16.7	-3.9	2.3	5.2	34.5	15.4	3.1	0.2	6.9	9.7	56.6	15.9	3.1	0.2
C04	0.038	8.9	-66.8	20.9	-5.6	-10.9	12.1	-10.2	27.1	3.3	0.3	1.5	2.3	2.2	75.2	7.1	0.5	1.7	2.5	1.7
C05	0.040	6.9	56.9	-14.2	13.2	-13.3	7.5	-17.1	21.0	1.8	1.8	2.8	0.9	6.5	74.7	4.7	4.0	4.1	1.3	6.8
C06	0.025	7.4	-17.3	-48.3	-45.8	31.2	-34.8	0.2	1.2	12.9	13.3	9.7	12.4	0.0	4.0	31.0	27.9	12.9	16.1	0.0
C07	0.061	1.8	-10.9	-13.8	18.1	-6.8	1.1	-3.5	1.2	2.6	5.0	1.1	0.0	0.4	15.4	24.9	42.6	6.0	0.2	1.6
C08	0.055	1.8	-9.2	-7.4	11.4	6.3	1.8	8.3	0.8	0.7	1.8	0.9	0.1	2.1	10.3	6.6	15.6	4.8	0.4	8.4
C09	0.048	5.1	41.8	16.4	1.4	-1.0	3.8	-19.1	13.6	2.9	0.0	0.0	0.3	9.8	66.1	10.1	0.1	0.0	0.5	13.8
C10	0.059	2.4	-12.4	-11.8	18.2	-8.0	-13.1	-1.6	1.5	1.8	4.9	1.5	4.1	0.1	19.0	13.5	32.3	6.3	16.7	0.3
C11	0.052	4.2	25.2	-8.6	-15.7	-8.5	-8.9	-13.7	5.3	0.8	3.2	1.5	1.0	5.3	30.6	3.6	11.9	3.5	2.3	9.0
C12	0.043	4.8	32.0	30.9	-12.7	14.0	3.1	8.6	7.0	9.0	1.7	3.3	0.2	0.0	36.0	33.6	5.7	6.9	0.3	0.9
C13	0.061	1.5	-17.0	10.7	-2.7	1.6	3.4	5.6	2.8	1.5	0.1	0.1	0.3	1.1	46.6	18.4	1.2	0.4	1.8	5.1
C15	0.062	1.4	-10.9	-10.0	15.5	-6.9	0.5	-4.7	1.2	1.4	3.7	1.2	0.0	0.7	20.9	17.7	42.1	8.4	0.9	3.8
C16	0.047	2.9	4.9	-9.4	0.4	11.5	14.6	25.1	0.2	0.9	0.0	2.5	4.2	16.6	1.6	5.7	0.0	8.4	13.7	40.7
C19	0.051	1.9	7.6	-14.9	-11.4	9.9	9.2	16.5	0.5	2.5	1.7	2.0	1.8	7.7	6.1	23.3	13.5	10.2	8.8	28.4
C21	0.059	2.7	-16.2	-11.3	13.8	-16.0	-0.6	-4.1	2.5	1.6	2.5	6.0	0.0	0.5	22.8	11.1	14.7	22.2	0.0	1.4
C22	0.031	10.9	-7.8	72.3	30.0	39.3	-30.4	-4.5	0.3	36.2	7.1	19.5	11.9	0.4	0.7	89.4	10.2	17.6	10.5	0.2
C23	0.053	3.3	-6.4	-1.9	-23.3	15.3	12.5	6.0	0.2	0.0	7.3	5.1	3.4	1.0	1.3	0.2	34.6	15.2	10.0	2.3
C25	0.062	2.1	-14.5	8.6	13.9	-8.8	2.5	-3.8	2.1	1.9	3.0	1.6	0.2	0.5	24.8	8.7	22.7	7.6	0.7	1.7
C26	0.048	2.9	21.1	11.9	-21.3	-4.5	4.6	-0.3	3.5	1.3	5.5	0.4	0.4	0.0	29.2	9.3	29.5	1.4	1.4	0.0
C27	0.020	7.3	41.3	23.1	19.8	-40.6	-18.6	62.8	5.4	2.3	2.0	13.0	2.8	43.1	18.1	5.7	4.2	17.5	3.7	41.9

3.4.4 Axe 4

Aux coordonnées négatives se trouvent (voir Tableau 11):

- complexité de la tâche;
- économies;

et aux coordonnées positives

- taux de production.

Donc un critère de faisabilité technique et deux critères de la catégorie productivité.

3.4.5 Axe 5

Ce dernier axe se décrit par quatre critères (voir Tableau 11):

- risque;
- inspection et qualité;
- taux de production;
- remplacement de personnes.

Deux critères ergonomiques et deux de productivité.

3.4.6 Discussion des résultats

Les étudiants ont utlisé vingt-deux critères au total. Leurs opinions se résument essentiellement à l'aide de cinq vecteurs associables à cinq étapes de décision pour robotiser une tâche en utilisant neuf critères (voir Tableau 12).

Ils accordent au départ leur attention à la faisabilité technique et à l'aspect ergonomique de la tâche. Le deuxième et le troisième axes sont composés de critères de productivité suivi du quatrième axe en faisabilité technique pour terminer par des considérations ergonomiques.

Par ces cinq vecteurs, 77,5% des opinions sont expliqués.

Tableau 12

Classement des critères d'après les non-initiés

Critères	Catégories	Filtres	Classement*
Tâche de l'opérateur	Ergonomique	1	A
Poids à manipuler	Faisabilité technique	1	A
Mouvements	Faisabilité technique	1	A
Inspection et qualité	Productivité	2	E
Taux de production	Productivité	2	E
Economies	Productivité	3	I
Complexité de la tâche	Faisabilité technique	4	O
Risque	Ergonomique	5	U
Remplacement	Ergonomique	5	U

* Classement
A : absolument important
E : extrêmement important
I : important
O : ordinairement important
U : ordinaire

CONCLUSION

L'objectif de l'ensemble des travaux de recherche est d'en arriver à modéliser le processus d'identification des tâches à robotiser. Ce rapport de recherche présente les résultats de la cueillette des données auprès de trois groupes de référence. Chaque personne et référence consultées utilisent un nombre assez réduit de l'ensemble des vingt-sept critères. Un consensus ne se dégage pas facilement.

Pour interpréter les résultats, l'analyse de correspondance a été utilisée. Là encore, il a été observé que les opinions sont variées. Les critères, tels que classés par chaque groupe de référence apparaissent au Tableau 13.

La triple comparaison permet ainsi de réduire la liste de vingt-sept à dix-sept critères important.

Les deux groupes qui se ressemblent le plus sont les auteurs et les non-initiés. Ce sont ces deux groupes de référence qui ont le plus de critères en commun. Ceci n'est pas surprenant, puisque les étudiants ont possiblement consultés ces auteurs durant leur recherche.

Les résultats indiquent que les praticiens semblent beaucoup plus préoccupés par ce qui entourent leur produit, sa vie, son style, les normes de qualité à respecter, les politiques de marketing, c'est-à-dire, tout ce qui affecte le mode de fabrication. Ils ont une préoccupation moins marquée pour les problèmes ergonomiques de la tâche. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que certains critères (c'est-à-dire les critères ergonomiques et ceux

de faisabilité technique) sont moins importants pour les entreprises visitées soit qu'elles ont ou n'ont pas déjà résolu ces problèmes ou simplement qu'elles ne sont pas concernées par eux. Ou encore, les auteurs qui sont des vendeurs, des universitaires utilisent ces critères pour justifier l'implantation de ce nouveau genre de technologie qui cause des mises à pied, une sorte de justification morale de la perte d'emplois dans les systèmes de production.

Tableau 13

Résumé des résultats

CRITERES	AUTEURS	PRATICIENS	NON-INITIES
1- RISQUE	A	O	U
2- REMPLACEMENT DE PERSONNES	A	-	U
3- ECONOMIES	E	E	I
4- TACHE DE L'OPERATEUR	A	-	A
5- POIDS A MANIPULER	E	-	A
6- INSPECTION ET QUALITE	E	A	E
7- CYCLE DE TRAVAIL	E	-	-
8- EQUIPEMENTS AUXILIAIRES	-	O	-
9- MOUVEMENTS	-	-	A
10- VARIATION DE PRODUIT	O	E	-
11- LOTS DE PRODUCTION	I	E	-
12- EFFETS POSITIFS	A	-	-
13- CONTROLE DE PROCEDE	I	-	-
14- CONTENU DE TRAVAIL	-	A	-
15- VIE DU PRODUIT	-	-	-
16- EXPERIENCE ANTERIEURE	-	-	-
17- ORIENTATION DES PIECES	-	-	-
18- ESPACE	-	-	-
19- FREQUENCE DE CHANGEMENTS DE PRODUCTION	-	I	-
20- MISES EN MARCHE	-	-	-
21- PERSONNEL QUALIFIE DISPONIBLE	-	-	-
22- TAUX DE PRODUCTION	-	I	E
23- PRECISION	-	-	-
24- INVENTAIRES	-	-	-
25- ENERGIE	-	-	-
26- IMPACTS SUR LE RESTE DE LA PRODUCTION	-	-	-
27- COMPLEXITE DE LA TACHE	-	-	O
TOTAL	11 critères	9 critères	9 critères

BIBLIOGRAPHIE

[1] VILLENEUVE, Laurent, RIOPEL, Diane,"Critères d'identification des tâches à robotiser: revue de littérature", Rapport technique EPM/RT-84-2, août 1984, 34 pages.

[2] ABAIR, David, LOGAN, James C., "The road to a Successful Robot Project-It's a Two Way Street", Conference Proceedings Applications Worldwide, Volume 1, 13th International Symposium on Industrial Robots and Robots 7, Chicago, Illinois, 1983, p 4-74--4-84.

[3] ALLAN, John J., "A survey of industrial robots", Productivity International Inc., 1980, p 159-160.

[4] FLECK, James, "The Adoption of Robots", Conference Proceedings Applications Worldwide, Volume 1, 13th International Symposium on Industrial Robots and Robots 7, Chicago, Illinois, 1983, p 1-41--1-52.

[5] HIGGINS, William J.,"Robot Application Development", Seminar Robots 7, avril 17-21 1983, 10 pages.

[6] KNIGHT, James L., NOF, Shimon, SALVENDY, Gavriel, "Effective Utilization of Industrial Robots: A job and skills analysis approach", AIIE Transaction, Volume 12, No 3, septembre 1980, p 216-225.

[7] OSBORNE, David M.,"An Introduction to basic concepts and applications", Midwest Sci=Tech Publishers Inc., 1983, p 169-179.

[8] OTTINGER, Lester V.,"A plant search for possible robot applications", Industrial Engineering, décembre 1981, p. 26-32.

[9] POURRAT, M., "Utilisation de robots de soudage à l'arc et coupage", Actes du Carrefour sur La Robotique Industrielle, 1982, Lyon, p 213-231.

[10] "Robot system consideration", Robotic International machine load/Material handling division.

[11] ROSATO, Pat John, "Robotic Implementation-Do It right", Conference Proceedings Applications Worldwide, Volume 1, 13th International Symposium on Industrial Robots and Robots 7, Chicago, Illinois, 1983, p 4-33--4-50.

[12] RAYMOND, Murray R., "Manufacturing Automation:Where to begin" Manufacturing Engineering and Management, décembre 1972, p 21-24.

[13] BENZECRI, J.-P., "L'analyse des données 2 L'analyse des correspondances", Editions Dunod, Paris, 1973, 619 pages.

[14] BARNETT, Vic, "Interpreting Multivariate Data", John Wiley & Sons, 1981, 374 pages.

[15] CLEMENT, Bernard, LEVESQUE, Daniel, "A SAS Program for Correspondence Analysis using Proc Matrix", Rapport technique EP83-R-41, janvier 1984, 76 pages.

Annexe 1

Critères d'identification des tâches à robotiser

1- Risque
2- Remplacement de personnes
3- Economies
4- Tâche de l'opérateur
5- Poids à manipuler
6- Inspection et qualité
7- Cycle de travail
8- Equipements auxiliaires
9- Mouvements
10- Variation du produit
11- Lots de production
12- Effets positifs
13- Contrôle de procédé
14- Contenu de travail
15- Vie du produit
16- Expérience antérieure
17- Orientation des pièces
18- Espace
19- Fréquence de changements de production
20- Mises en marche
21- Personnel qualifié disponible
22- Taux de production
23- Précision
24- Inventaires
25- Energie
26- Impacts sur le reste de la production

Annexe 2

Origine des auteurs

- David ABAIR et James C. LOGAN.
  Prab Robots Inc.

- John ALLAN
  Productivity International

- James FLECK
  University of Aston in Birmingham
  Birmingham, England.

- William J. HIGGINS
  Prab Robots Inc.

- James L. KNIGHT, Shimon NOF, Gavriel SALVENDY
  School of Industrial Engineering
  Purdue University
  West Lafayette, Indiana.

- David M. OSBORNE
  instructor
  ASEA Robots

- Lester V. OTTINGER
  president
  Robot System Inc.

- M. POURRAT
  Société SAF
  Saint Ouen l'Aumône, France.

- ROBOTIC INTERNATIONAL
  MACHINE LOAD/MATERIAL HANDLING DIVISION.

- Pat John ROSATO
  Unimation Inc.

- Murray, R. RAYMOND
  Magnavox Company.

Annexe 3

Liste des entreprises participantes

- BOMBARDIER
  Valcourt
  Jocelyn Huot

- B & X INDUSTRIES
  Valleyfield
  Mark Bacon

- CONTINENTAL CAN CANADA
  Ville St-Laurent
  Guy Boudreault, directeur du génie industriel

- FIBROBEC
  Beloeil
  Jean-Pierre Leblanc, gérant de production

- GEMETEC INDUSTRIES
  M. Chartrand

- NORTHERN TELECOM
  Division Transmission A & R
  Louis Taillefer, ingénieur

- NORTHERN TELECOM
  Division Transmission A & R
  Michel Beaumont, ingénieur

- GENERAL ELECTRIC
  Bromont
  Gaétan Roy, ingénieur

- GENERAL MOTORS
  Ste-Thérèse
  Joel Pinsky, ingénieur
  Jean Maquignaz, ingénieur
  Jean-Pierre Lalonde, ingénieur

- SHELLCAST
  Frank Kollman, gérant d'équipement

Annexe 4

Renseignements sur les postes robotisés

BOMBARDIER, Valcourt
pas de visite
réponse par courrier

B & X INDUSTRIES, Valleyfield
pas de visite
réponse par courrier

CONTINENTAL CAN CANADA, Ville St-Laurent

ROBOT: un système de convoyeur automatisé
fabrication maison

Date d'installation: novembre 1982

Date de mise en service: juillet 1983

Commentaires: le système installé est plus de l'automatisation fixe que de la robotisation.

FIBROBEC, Beloeil

ROBOT: 1 ASEA 60 kg pneumatique

Date d'installation: septembre 1983

Date de mise en service: février 1984

Commentaires: Sur des boîtes de fibre de verre pour camionnette style pick-up, le robot découpe des ouvertures et perce des trous pour permettre l'installation de portes et de fenêtres. Il est programmé pour 385 patrons de coupes. Ces opérations étaient effectuées de façon manuelle à l'aide de gabarits. Le poste de travail n'est pas entièrement robotisé, il n'y a pas de système de chargement et de déchargement ni de système de reconnaissance des modèles, ces tâches sont manuelles. L'entreprise ajoutera prochainement un système de récupération de poussière.

Le principal problème rencontré a été l'imprécision du tracé de coupe causée en partie par la variabilité de l'épaisseur du fibre de verre à découper.

GEMETEC INDUSTRIES, Montréal

ROBOT: 3 Unimates

Date d'installation: mai 1980

Date de mise en service: janvier 1981
février 1981
mars 1981

Commentaires: Gemetec se spécialise dans la fabrication de pièces en magnésium et en aluminium destinées principalement pour l'industrie de l'automobile. Pour leur nouvelle usine, Gemetec voulait robotiser la manipulation des pièces de leur sortie du moule à un convoyeur. La température des pièces à la sortie du moule est très élevée et il est nécessaire pour un opérateur humain de se protéger en portant des gants en amiante.

NORTHERN TELECOM, Ville St-Laurent
Division Transmission A & R

ROBOT: 1 Seiko Model 100 (pneumatique)

Date d'installation: avril 1983

Date de mise en service: novembre 1983

Commentaires: La tâche consiste à entourer une bobine d'un ruban en tenant compte de la polarité de la pièce.

NORTHERN TELECOM, Ville St-Laurent

ROBOT: 6 White Machine (x-y-z)
2 Raymond (véhicules autoguidés)

Dates d'installation: 6 White Machine : juin 1983
2 Raymond : novembre 1983

Dates de mise en service: 6 White Machine : avril 1984
2 Raymond : décembre 1983

Commentaires:

6 White Machine: robots de manipulation de contenants de plastique d'un convoyeur à un carroussel d'entreposage. Chaque robot a deux bras un pour chaque axe (x et y) plus une course selon l'axe des z.

2 Raymond: pour déplacer des produits assez volumineux entre les différents départements de l'usine. Le chargement et le déchargement s'effectuent à des stations prédéterminées.

GENERAL ELECTRIC, Bromont

ROBOT: 5 General Electric P-50
2 General Electric A-3
3 Robots Mobot
2 General Electric P-5

Date d'installation: août 1982

Date de mise en service: janvier 1983

Commentaires:

5 GE P-50 : robots à 5 axes utilisés pour la soudure
2 GE A-3 : robots de manutention pour des poids de 8 onces
3 MOBOT : robots de manutention pour des poids de 50 lbs
2 GE P-5 : robots semblables au P-50 en moins intelligents

GENERAL MOTORS DU CANADA, Ste-Thérèse

ROBOT: 1 Cincinnati Milacron (hydraulique)
1 GMF 380
1 GMF 360

Date d'installation: 1 Cincinnati : juillet 1980
1 GMF 380 : mars 1984
1 GMF 360 : septembre 1983

Date de mise en service: 1 Cincinnati : septembre 1980
1 GMG 380 : juin 1984
1 GMF 360 : ----

Commentaires:

1 Cincinnati Milacron : robot de soudure par points
1 GMF 380 : robot de soudure par points
1 GMF 360 : robot de soudure utilisé pour l'entraînement du personnel

SHELLCAST, Montréal-Nord

ROBOT: Unimate

Date d'installation: 1981

Date de mise en service: septembre 1983

Commentaires: Le robot transporte des pièces suspendues à un crochet d'un convoyeur aérien à différents bains de solutions et après deux trempages les ramène au convoyeur aérien. Le volume et le poids des pièces varient et le milieu de travail est pollué par les solutions.

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
3 9334 00289262 6