UNIVERSITE DE MONTREAL

LA ROBOTISATION D'UN SYSTEME DE CHARGEMENT ET DE DECHARGEMENT D'UNE MACHINE-OUTIL A COMMANDE NUMERIQUE.

par

Suzanne ALLY-GRENIER
DEPARTEMENT DE GENIE INDUSTRIEL
ECOLE POLYTECHNIQUE

MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION
DU GRADE DE MAITRE ES SCIENCES APPLIQUEES (M.Sc.A.)

avril 1989

c Suzanne Ally-Grenier 1989

National Library of Canada
Bibliothèque nationale du Canada

Canadian Theses Service
Service des thèses canadiennes

Ottawa, Canada
K1A 0N4

The author has granted an irrevocable non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of his/her thesis by any means and in any form or format, making this thesis available to interested persons.

The author retains ownership of the copyright in his/her thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without his/her permission.

L'auteur a accordé une licence irrévocable et non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de sa thèse de quelque manière et sous quelque forme que ce soit pour mettre des exemplaires de cette thèse à la disposition des personnes intéressées.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège sa thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

ISBN 0-315-50189-8

Canada

UNIVERSITE DE MONTREAL

ECOLE POLYTECHNIQUE

Ce mémoire intitulé:

LA ROBOTISATION D'UN SYSTEME DE CHARGEMENT ET DE DECHARGEMENT D'UNE MACHINE-OUTIL A COMMANDE NUMERIQUE

présenté par: SUZANNE ALLY-GRENIER

en vue de l'obtention du grade de: M.Sc.A.

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de:

M. Laurent Villeneuve, M.Eng.,président

M. Fred Bassal, B.Sc.

M. Alain Chavanton, Dip.Ing.

SOMMAIRE

Etant donné les fonctions de chargement et de déchargement reliées au poste d'usinage, cette recherche présente le système robotisé comme moyen d'introduction de l'automatisation flexible dans une cellule de production.

L'objectif global de conception de chargement et de déchargement par robot, face à un poste d'usinage dont l'équipement de base est déjà existant, permet d'en mieux cerner les difficultés de réalisation. Cette recherche s'est donc élaborée autour d'une machine-outil de conception didactique qui est un tour à commande numérique, disponible au laboratoire de génie industriel de l'Ecole Polytechnique.

L'automatisation complète d'un poste de tournage ne peut être réalisée que par étapes successives étant donné sa très grande complexité. La réalisation complète de l'automatisation du système de chargement et de déchargement est aussi en elle-même une étape très complexe dont la première phase, qui est celle de la conception du système, fait l'objet de la présente étude.

Les premiers résultats de cette démarche

conceptuelle, quant au choix et au positionnement du système robotique face à la machine-outil, ont découlé directement de l'analyse des tâches et des besoins inhérents au poste de tournage à automatiser, ainsi que d'une méthode rigoureuse de sélection de robot.

Les seconds résultats, quant à l'intégration physique ou implantation du système robotique par rapport aux autres éléments du poste de tournage, se sont élaborés autour du robot ASEA IRb-6 disponible au laboratoire de robotique de l'Ecole Polytechnique.

Cependant l'analyse fonctionnelle du système a permis de définir un cahier de charges relativement détaillé quant aux modes de fonctionnement du système robotique et aux équipements de contrôle, périphériques ou de soutien, nécessaires à la réalisation d'un système automatisé opérationnel. Les fonctions robotiques y sont regroupées sous deux grandes catégories: les opérations de manipulation proprement dites et les opérations de communication avec les autres éléments du poste.

La conclusion générale ouvre la voie de la réalisation d'un poste qui se voudra entièrement automatisé grâce à un développement progressif et continu.

ABSTRACT

This study presents the result of the conception of robotic system to fill handling functions at a lathe cell.

The objective was to analyse cell needs, to choose a model robot and to analyse how the elements will work together.

The first results concern robot selection. Based on critical factors analysis, two stages of selection are necessary: it is a critical decision for the future developments and realisation of an automated cell.

The second point analysed concerned the capacity of implementation of a specific robotic system, which is a robot ASEA, model IRb-6 version 1, with a CNC lathe. The results show that it is possible to realise an integration of all parts of the cell with a good planning and a great reliability of robot handling and controls regarding automated production functions as well as its communication capabilities.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui de près ou de loin m'ont aidée à réaliser ce travail et tout particulièrement mes co-directeurs de recherche MM. Fred Bassal et Kalyan Ghosh, professeurs au département de génie industriel de l'Ecole Polytechnique.

TABLE DES MATIERES

PAGE

Sommaire iv

Abstract vi

Remerciements vii

Liste des annexes xii

Liste des figures xiii

Liste des tableaux xv

INTRODUCTION 1

CHAPITRE I - DESCRIPTION DU POSTE DE TOURNAGE 4

1.1 Les différentes parties 6

1.1.1 Le poste d'usinage 6

1.1.2 Le système de transfert de pièces . 7

1.1.3 Le système de chargement et de déchargement 8

1.1.4 Le système de gestion et de contrôle 9

1.1.5 La zone de stockage 9

1.2 La description générale des tâches 10

CHAPITRE II - ETUDE PRELIMINAIRE D'IMPLANTATION 13

2.1 L'accessibilité du robot à la machine-outil 15

2.1.1 Accessibilité par le devant 17

2.1.2 Accessibilité par l'arrière 17

2.1.3 Accessibilité par le côté 18

PAGE

2.1.4 Accessibilité par le dessus 19

2.1.5 Choix retenus 20

CHAPITRE III - CHOIX DU ROBOT 21

3.1 Analyse des besoins 22

3.1.1 L'enveloppe de travail 23

3.1.2 Le degré de flexibilité 31

3.1.3 Le temps de cycle 34

3.1.4 Les besoins de la production 41

3.1.5 La charge à manipuler 41

3.1.6 La précision et la répétabilité du positionnement 43

3.1.7 Les conditions environnementales 45

3.1.8 La sécurité 45

3.1.9 La fiabilité 46

3.1.10 Les interfaces robot-machine ... 46

3.2 Sélection du robot 47

3.2.1 Les robots qui répondent aux besoins du poste 47

3.2.2 Les critères de sélection 48

3.2.3 Choix proposé 49

3.2.4 Choix retenu 50

CHAPITRE IV - MANIPULATION DE PIECES 53

4.1 Choix de pièces 53

4.2 Présentation aux postes 55

PAGE

4.3 Spécifications opérationnelles 56

CHAPITRE V - ANALYSE FONCTIONNELLE 57

5.1 Description du système automatisé 57

5.2 Cahier des charges 59

5.2.1 Les spécifications fonctionnelles . 59

5.2.2 Les spécifications technologiques . 64

5.2.2.1 L'équipement de commande .. 66

5.2.3 Les spécifications opérationnelles. 67

CHAPITRE VI - INTEGRATION DU POSTE D'USINAGE 70

6.1 Les fonctions d'usinage 70

6.1.1 La programmation 71

6.1.2 La sauvegarde des programmes 71

6.2 Les fonctions de liaisons avec l'extérieur 73

CHAPITRE VII - INPLANTATION DU SYSTEME ROBOTIQUE 76

7.1 Les fonctions robotiques 76

7.2 La programmation 79

7.2.1 Le programme de chargement 82

7.2.2 Le programme de déchargement 84

7.2.3 Le programme de retournement 86

CHAPITRE V111 - INTEGRATION DU SYSTEME DE GESTION ET DE CONTROLE: 89

8.1 La gestion du robot ASEA 93

PAGE

CHAPITRE IX - INSTALLATION DU SYSTEME ROBOTIQUE 95

9.1 Implantation physique des différents éléments du poste de tournage 95

9.1.1 La zone de travail du robot 96

9.1.2 Le positionnement du tour 98

9.1.3 Le positionnement du robot en attente 99

9.1.4 Le positionnement des postes de dépose de pièces 100

CHAPITRE X - CONCLUSION 103

Références 106

Annexes 109

LISTE DES ANNEXES

		PAGE
ANNEXE A	Spécifications du tour Hercus	109
ANNEXE B	Spécifications des robots étudiés	111
ANNEXE C	Spécifications du robot ASEA IRb-6, de son support de base et de l'effecteur .	117
ANNEXE D	Dessin de définition de la pièce usinée	119
ANNEXE E	Description des phases et des programmes d'usinage	121

LISTE DES FIGURES

PAGE

Figure 1.1 Le poste de tournage 5

Figure 2.1 Accès (du robot) par le devant (de la machine 16

Figure 2.2 Accès par l'arrière 16

Figure 2.3 Accès par le côté 16

Figure 2.4 Accès par le dessus 16

Figure 3.1 L'enveloppe de travail d'un robot au sol .. 25

Figure 3.2 L'enveloppe de travail d'un robot suspendu. 28

Figure 3.3 Système de coordonnées utilisé au poste de tournage 32

Figure 3.4 Prises de pièce par l'effecteur du robot .. 33

Figure 3.5 Trajectoire théorique minimale d'un robot au sol 36

Figure 3.6 Trajectoire théorique minimale d'un robot suspendu 38

Figure 4.1 La pièce à manipuler: a) la pièce brute ... 54

b) la pièce usinée .. 54

Figure 5.1 Schéma général d'un système automatisé 57

Figure 5.2 Système automatisé du poste de tournage ... 58

Figure 5.3 Grafcet de la partie commande 62

Figure 5.4 Informations transmises entre les deux niveaux de commande du poste 65

Figure 5.5 Interfaces à relais entre le robot IRb-6 et le micro-ordinateur:
a) Montage d'un relais +5V à un port d'entrée du contrôleur du robot 68
b) Montage d'un relais +24V à un port de sortie du contrôleur du robot 68
Figure 9.1 Implantation physique du poste de tournage: Vue latérale: intégration du robot 97
Figure 9.2 Implantation physique du poste de tournage: Vue de plan: intégration des postes de dépose 102

LISTE DES TABLEAUX

PAGE

Tableau 1.1 Le degré d'automatisation prévu du poste de tournage, par la robotisation du système de chargement et de déchargement 12

Tableau 3.1 Les distances théoriques à parcourir par l'extrémité d'un robot au sol 37

Tableau 3.2 Les distances théoriques à parcourir par l'extrémité d'un robot suspendu 39

Tableau 3.3 Les contraintes du poste en regard des facteurs critiques 47

Tableau 3.4 Les critères de sélection de robots 48

Tableau 3.5 Résultats comparatifs d'évaluation des six robots sélectionnés 50

INTRODUCTION

Cette recherche a pour but de favoriser l'accessibilité d'un robot à des fonctions de chargement et de déchargement d'une machine-outil et de ce fait, le considérer comme un moyen d'automatisation de la production.

Elle permettra également de développer une expertise scientifique dans le domaine de la conception de système automatisé et de laisser à l'Ecole Polytechnique un outil d'enseignement de qualité.

L'objectif visé est aussi de faire une analyse et une évaluation scientifique juste des qualités du système afin de prévoir son niveau de productivité, ses capacités de fonctionnement sous différents modes, définir ses limites, etc.

Le projet regroupe dans la démarche conceptuelle, l'analyse fonctionnelle du système, le choix du robot d'alimentation et ses modalités d'intégration au poste de tournage soit par sa localisation, ses modes de fonctionnement ou autres.

Les conditions à partir desquelles le projet s'élabore sont des conditions de laboratoire où seul un tour à commande numérique en constitue l'élément de départ.

Il est donc nécessaire de développer la notion de "poste de tournage" comme système cadre et d'en faire la description générale: c'est le sujet du chapitre premier.

La machine-outil est au coeur du sujet car elle a, par ses caractéristiques propres, une influence considérable et déterminante sur:

1° le choix du système robotique et

2° le degré d'automatisation du poste de tournage.

L'exploration des différentes hypothèses d'aménagement est traité au second chapitre tandis que le choix du robot constitue l'essentiel du troisième chapitre.

De plus, chacun des autres éléments du poste devra être amené à un certain niveau de développement pour les besoins du projet. Ainsi, la présentation des pièces fait l'objet du chapitre quatre.

L'analyse des tâches exécutables par le système automatisé ainsi créé est détaillée au chapitre cinq.

Les étapes suivantes concernent la démarche d'intégration des deux éléments principaux que sont le robot et le tour. Par une analyse plus fine des fonctions de chacun et par une compréhension plus grande des modalités d'installation, la voie est maintenant ouverte à la réalisation d'un système flexible.

CHAPITRE I

DESCRIPTION DU POSTE DE TOURNAGE

La description du poste de tournage est la première étape de la démarche conceptuelle. Elle permet de situer le système de chargement et de déchargement par rapport aux autres éléments du poste.

Le poste de tournage peut être défini comme "un ensemble physique où tous les éléments participent à la réalisation de l'objectif général de celui-ci, en l'occurence l'usinage de pièces par tournage".

Il est constitué des cinq éléments suivants:

1) le tour à commande numérique,
2) le système de transfert de pièces,
3) le système de chargement et de déchargement,
4) le système de gestion et de contrôle et
5) une zone de stockage.

Cependant, cet ensemble ne constitue pas un système fermé. Les liens avec l'extérieur sont présents à plusieurs niveaux: ils peuvent être d'ordre décisionnel-informationnel et/ou opérationnel.

Ainsi, par exemples, l'arrivée et le départ physique des pièces se fait normalement par l'intermédiaire du système de transfert et l'évacuation des copeaux par la zone de stockage: ce sont des liens d'ordre opérationnel. La prise d'informations venant de l'extérieur, que ce soit avec un système de gestion de niveau supérieur ou avec d'autres postes, se fait par l'intermédiaire du système de gestion et de contrôle du poste: c'est un lien d'ordre informationnel.

La figure ci-dessous montre, par une représentation schématique, le poste de tournage à réaliser, avec ses différents éléments et leurs liens opérationnels.

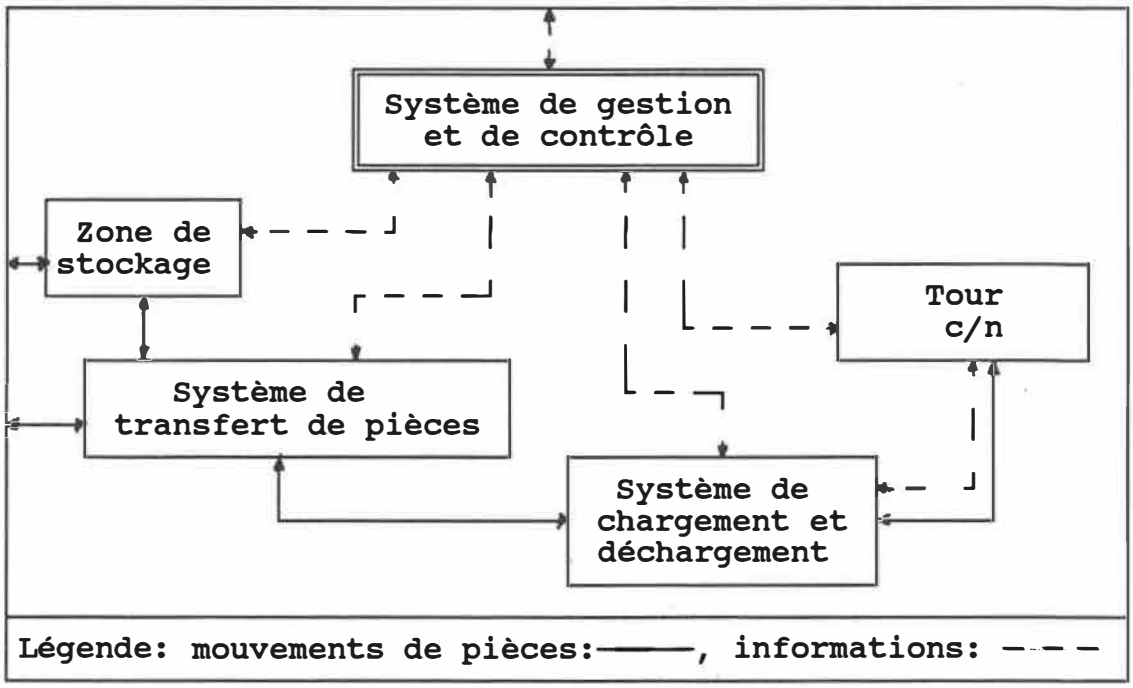


Figure 1.1 Le poste de tournage

En robotisant la fonction de chargement et de déchargement, celà revient à modifier les variables de un des éléments du poste. Influencés d'une manière certaine par ce changement, les autres éléments devront être réévalués eux aussi, à la phase de conception.

Voici plus en détails de quoi se compose chacun des éléments du poste ainsi que leurs fonctions propres.

1.1 Les différentes parties

1.1.1 Le tour à commande numérique

Il comprend:

- la machine-outil à commande numérique (tour Hercus modèle D5 [1]) et
- son équipement auxilliaire tels outils de coupe, outillages.

Sa fonction est essentiellement d'usiner une pièce en tournage, de façon à répondre aux exigences du dessin de définition, à l'aide d'un programme d'usinage que contrôle le directeur de commande numérique de la machine-outil.

---

(1) Voir annexe A pour les spécifications du fabricant.

Il reçoit la pièce à usiner par l'intermédiaire du système de chargement et déchargement tandis que les informations nécessaires à l'usinage et les ordres d'exécution lui parviennent du système de gestion et de contrôle auquel il lui retourne les comptes rendus opérationnels.

1.1.2 Le système de transfert de pièces

Il comprend:

- un poste d'arrivée des pièces brutes et
- un poste de sortie des pièces usinées.

Chaque poste doit être conçu de manière à recevoir les palettes sur lesquelles les pièces seront déposées. La fonction de ce système est de recevoir les pièces brutes venant du magasin ou d'un poste précédent ou à l'occasion de la zone de stockage et les pièces usinées venant du tour -par l'intermédiaire du système de chargement et de déchargement- en des lieux facilitant leur réception, leur manipulation et leur départ du poste.

Dans le cas présent, ce système est de caractère passif car il ne possède pas les fonctions lui permettant l'identification de pièces ou la gestion des lots qu'il

reçoit et ne peut envoyer de l'information aux autres parties du système. C'est le système de gestion et de contrôle qui viendra interroger son état d'occupation.

1.1.3 Le système de chargement et déchargement

Il comprend:

- le robot de chargement et déchargement,
- le ou les effecteurs utilisés et
- l'armoire de commande(1) et
- un opérateur humain.

La fonction de ce système est essentiellement la manipulation des pièces entre le poste d'usinage et le système de transfert. Il rend compte de ses opérations au système de gestion et de contrôle qui lui transmet les ordres d'exécution aux moments voulus. Des opérations manuelles de ce niveau seront nécessaires durant toute la phase de transition vers une automatisation complète ou pour répondre à la production lors de panne du système automatique ou si, par décision, une partie des opérations de production devait demeurer manuelle. C'est pourquoi un opérateur humain est prévu.

---

(1) L'ensemble que comprend le robot, son effecteur, son armoire de commande et tous autres équipements périphériques constitue le système robotique.

1.1.4 Le système de gestion et de contrôle

Il comprend:

- un micro-ordinateur, incluant ses logiciels de gestion et de communications,
- tous équipements nécessaires aux interfaces avec le système robotique et la machine-outil et
- un opérateur humain.

Sa fonction est de faire la gestion du poste de tournage et la coordination entre ses différentes parties opératives: c'est le superviseur des opérations. Pour sa part, l'opérateur humain prendra charge de la mise en marche du système, de la surveillance générale des opérations et pourra intervenir aux niveaux décisionnels supérieurs.

1.1.5 La zone de stockage

Cette zone sert principalement au stockage des copeaux. Elle peut également servir au stockage temporaire de pièces et de palettes si besoin est. La relation bi-directionnelle entre cette zone et le système de transfert de pièces s'explique par la possibilité d'y stocker des pièces tant à l'arrivée qu'au départ du poste.

1.2 La description générale des tâches

Voici la description générale des tâches aux différentes étapes du processus d'usinage.

Etape 1 : Pièces au poste d'arrivée

1. Arrivée des pièces brutes
2. Identification du lot et du travail à exécuter
3. Préparation de la commande numérique:
   - recherche et appel du programme d'usinage
   - activation du programme
4. Préparation de la machine-outil:
   - identification des outils de coupe nécessaires
   - installation et réglage des outils
   - mise à l'origine avec dégagement de la tourelle
5. Préparation du système robotique:
   - recherche et transmission du programme de manipulation dans le contrôleur du robot
6. Chargement d'une pièce sur la machine-outil

Etape 2 : Pièce en position dans le mandrin

7. Vérification des états du système avant la mise en marche:

. serrage correct de la pièce

. protections en place

8. Actionnement du cycle d'usinage

Etape 3 : Cycle d'usinage en action

9. Usinage de la pièce

10. Surveillance et contrôle des opérations

Etape 4 : Cycle d'usinage complété

11. Retournement de la pièce et/ou

12. Déchargement de la pièce selon la phase d'usinage complétée

13. Evacuation des copeaux du banc du tour

14. Changements d'outils si nécessaire

15. Départ des pièces usinées

Il apparaît donc que les tâches 6,11 et 12, effectuées par le robot, ne sont que trois éléments parmi un ensemble de tâches de niveau opérationnel et/ou décisionnel, exécutées séquentiellement lors du processus d'usinage. Le tableau suivant montre, pour chacune des tâches énumérées, le degré d'automatisation réalisable par la robotisation du système de chargement-déchargement, première étape à l'automatisation du poste de tournage.

TACHES	NIVEAU D'INTERVENTION	INTERVENANTS
1.Arrivée des pièces	manuelle	opérateur
2.Identification du lot(1)	manuelle	opérateur
3.Préparation de la CN	automatique	s.g.c.*
4.Préparation de la MOCN(1)	manuelle	opérateur
5.Préparation du robot(1)	manuelle	opérateur
6.Chargement de la MOCN	automatique	robot
7.Vérification générale du système(2)	manuelle	opérateur
8.Actionnement du cycle	automatique	s.g.c.
9.Usinage	automatique	CNC
10.Surveillance et contrôle durant l'usinage	mixte	CNC et opérateur
11.Retournement de pièce	automatique	robot
12.Déchargement	automatique	robot
13.Evacuation de copeaux(3)	manuelle	opérateur
14.Changements d'outils	manuelle	opérateur
15.Départ des pièces usinées	manuelle	opérateur
* Système de gestion et de contrôle		

Tableau 1.1 Le degré d'automatisation réalisable du poste de tournage, par la robotisation du système de chargement-déchargement.

(1) Les interventions ne se font qu'une seule fois au début d'une nouvelle production.
(2) Un système de haute fiabilité pourrait rendre superflue cette vérification.
(3) Cette intervention est sporadique.

CHAPITRE II

ETUDE PRELIMINAIRE D'IMPLANTATION

Connaissant les différentes parties du poste de tournage, il faut maintement chercher à les positionner les unes par rapport aux autres afin de constituer une système opérationnel. Ainsi commence l'étude d'implantation.

Plusieurs hypothèses d'implantation ou scénarios sont donc possibles selon la catégorie de robot choisie et le positionnement relatif robot-machine-outil.

En effet, il existe trois grandes catégories de robot d'alimentation en terme d'installations:

. le robot fixe,

. le robot mobile (au sol ou suspendu) et

. le robot intégré à une machine-outil.

Chaque catégorie, par ses caractéristiques propres, offre des solutions différentes selon les différents besoins du poste.

Le robot fixe, par exemple, offre une grande stabilité lorsqu'il est en opération; en contrepartie, il

ne pourra être déplacé aisément. Il pourra desservir une ou plusieurs machines situées à l'intérieur de son enveloppe de travail.

Le robot mobile se divise en deux types distincts selon qu'il se déplace au sol ou qu'il soit suspendu.

L'avantage du robot mobile est de pouvoir étendre la zone de travail effective. Celà lui permet de desservir plusieurs postes de travail relativement éloignés.

Il faut reconnaître cependant que ce système requiert des coûts additionnels d'investissement, présente un certain encombrement et peut engendrer des problèmes mécaniques, sans compter une installation plus complexe.

Lorsque le robot est suspendu, il offre alors des conditions plus sécuritaires de travail tout en amenant un gain d'espace au sol, mais sa zone de travail est limitée aux dimensions du portique qui le soutient. Il est souvent préféré pour la manipulation de lourdes charges.

Le robot intégré, moins répandu que les deux autres, permet l'installation d'un format plus petit et moins coûteux à cause de sa localisation privilégiée sur la

machine-outil. Il favorise de plus la réduction des temps d'opérations.

Par rapport au poste de travail, les hypothèses de positionnement du robot sont donc multiples: il peut être placé devant, derrière, sur le côté ou au-dessus de la machine-outil. En somme, quatre scénarios de positionnement combinés à trois types d'installation possibles.

2.1 L'accessibilité du robot à la machine-outil

Pour faire une analyse détaillée des différentes hypothèses, chaque situation sera évaluée en tenant compte des avantages et inconvénients qu'elle présente. La figure suivante regroupe les croquis des quatre schémas d'installation étudiés. Voici la signification des symboles qui y sont utilisés:

A.C.: armoire de commande du robot,

C.G.C.: centre de gestion et de contrôle,

I: point d'insertion du tour,

MOCN: machine-outil à commande numérique,

P.A.: point d'arrivée,

P.D.: point de départ,

R: centre de la base du robot.

Légende:
① Tour à commande numérique ④ Armoire de commande
② Poste d'arrivée de pièces ⑤ Poste de départ
③ Centre de gestion et contrôle ⑥ Centre du robot
⑦ Enveloppe de travail

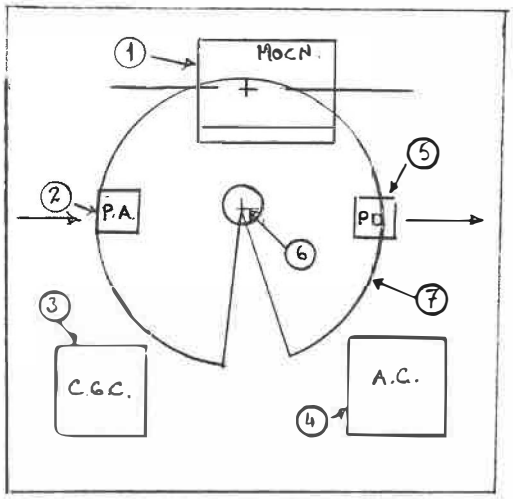


Figure 2.1 Accès par le devant

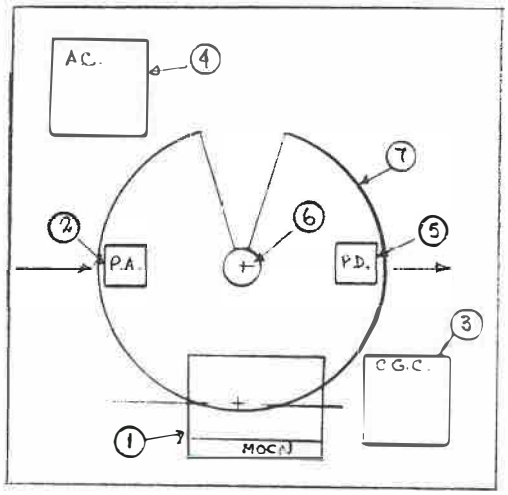


Figure 2.2 Accès par l'arrière

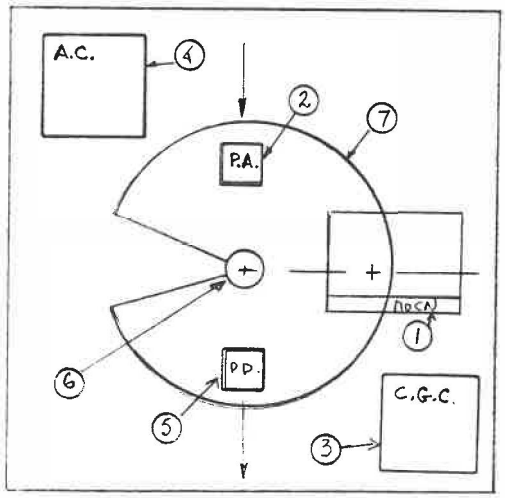


Figure 2.3 Accès par le côté

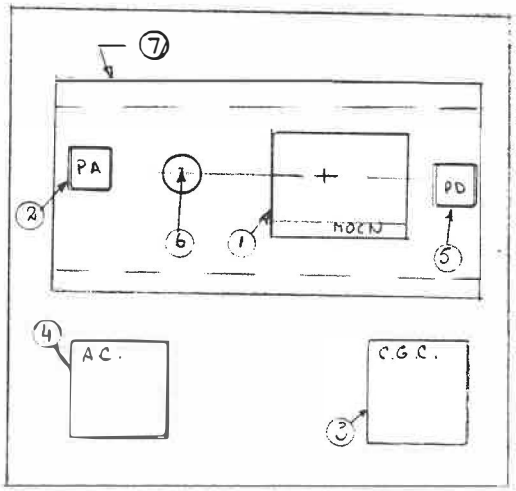


Figure 2.4 Accès par le dessus

2.1.1 Accessibilité par le devant de la machine

Les avantages de cette installation présentée à la figure 2.1 de la page 15, sont:

. l'accès direct aux points de palettisation et d'insertion machine et
. les mouvements simples du robot.

Les inconvénients sont:

. que le robot peut nuire lors des opérations manuelles effectuées au tableau de contrôle du tour ou lors de l'enlèvement des copeaux,
. l'occupation d'une grande surface au sol,
. qu'il y a possibilité, par le robot d'échapper une pièce sur les contrôles de la machine-outil,
. que l'opérateur doit entrer dans la zone de travail du robot et
. que l'accessibilité au mandrin du tour peut nécessiter un rehaussement de la base du robot dans le cas étudié ici.

2.1.2 Accessibilité par l'arrière de la machine

Les avantages de cette installation présentée à la figure 2.2 de la page 15, sont:

. la liberté d'accès aux contrôles manuels du tour,

. la liberté d'accès pour un opérateur humain aux fonctions de préparation de la machine-outil,
. la très grande sécurité des opérations, n'ayant aucune interférence homme-robot et
. de permettre d'isoler la zone homme-machine par un protecteur visuel

Les inconvénients sont:

. de gèner l'accès au panneau de contrôles arrière,
. d'occuper une grande surface au sol,
. une moins bonne visibilité des opérations robotiques pour l'opérateur situé à l'avant de la machine,
. que le rehaussement de la base du robot peut être nécessaire et
. que le panneau arrière du tour devra être retiré.

2.1.3 Accessibilité par le côté de la machine

Les avantages de cette installation présentée à la figure 2.3 de la page 15, sont:

. de libérer les contrôles avant et arrière du tour,
. de simplifier les mouvements du robot parce qu'il est placé dans l'axe de la broche,
. de réduire les déplacements du bras du robot (surtout si celui-ci est placé sur la machine au-dessus du mandrin)

Les inconvénients sont:

. une zone d'interférence avec l'opérateur,
. que la base du robot doit être très surélevée à cause des zones d'interférence avec les côtés de la machine et
. que l'accès au tour du côté droit est impossible à cause de l'interférence majeure avec la tourelle porte-outil.

2.1.4 Accessibilité par le dessus de la machine

Les avantages de cette installation présentée à la figure 2.4 de la page 15, sont:

. la réduction de l'espace au sol,
. la sécurité face à un opérateur manuel est respectée,
. l'accessibilité aux contrôles manuels est possible et
. les déplacements du robot sont simples et écourtés.

Les inconvénients sont:

. le montage complexe de l'installation, à cause de la structure portante,
. la limitation des opérations robotiques à une seule machine,
. l'espace réduit qui peut limiter les déplacements du robot et
. que plusieurs robots ne sont pas conçus pour travailler en position renversée.

2.1.5 Choix retenus

Pour faire un choix d'aménagement, il faut soupeser chacun des avantages et inconvénients de chaque hypothèse et conserver alors la plus favorable.

Cependant, le facteur sécurité est primordial en robotique. De nombreuses interactions homme-machine demeureront à l'implantation, pour la préparation du tour ou l'enlèvement des copeaux par exemple mais aussi et surtout pour les fonctions de dialogues avec la commande numérique.

C'est pourquoi il est important de définir une zone homme-machine, qui serait inaccessible au robot. La frontière entre cette zone homme-machine et la zone robot-machine va se situer à la limite du tableau de contrôle de la machine-outil.

Compte tenu de l'interférence évidente de ces deux zones dans les scénarios 1 et 3, seules les hypothèses 2 (accès par l'arrière) et 4 (accès par le dessus) sont conservés pour une analyse plus poussée, jusqu'à ce qu'un choix définitif d'implantation s'impose.

CHAPITRE III

CHOIX DU ROBOT

L'étape précédente avait permis de retenir deux types d'aménagement possibles pour le poste de tournage. Deux hypothèses d'implantation de robot y sont retenues, soit:

1° un robot fixe, au sol, situé à l'arrière du tour, ou

2° un robot fixe ou mobile, suspendu au-dessus du tour.

Dans cette étape-ci, les deux hypothèses seront conservés pour leur évaluation respective. Cette analyse en profondeur va permettre de trancher entre les deux.

L'analyse pour le choix du robot se divise donc en deux étapes distinctes.

La première est l'évaluation des besoins du poste à robotiser à partir de facteurs opérationnels critiques. Cette étape permettra de quantifier, de façon la plus précise possible, une ou plusieurs caractéristiques de robots répondant aux besoins spécifiques du poste. De ceci découlera une première sélection de robot.

Tous les robots sélectionnés, étant jugés adéquats pour la tâche, devront subir une seconde sélection basée sur des critères qualitatifs auxquels on assigne une valeur de pondération selon le niveau de satisfaction atteint pour chaque élément critique.

3.1 Analyse des besoins

Afin de répondre adéquatement aux exigences du poste à robotiser, l'examen des 10 facteurs opérationnels critiques suivants, relevés dans la littérature (Emerson, 1985 et Ottinger, 1982), sera faite. Ceci permettra de faire ressortir les besoins du poste en regard de chacun d'eux et de faire une meilleure sélection de robot par le fait même. Ce sont:

1. L'enveloppe de travail
2. Le degré de flexibilité
3. Le temps de cycle
4. Les besoins de la production
5. Les charges à manipuler
6. La précision et répétabilité du positionnement
7. Les conditions environnementales
8. La sécurité
9. La fiabilité
10. Les interfaces robot-machine

3.1.1 L'enveloppe de travail

L'exercice suivant va mettre en relation deux contraintes spatiales quantifiables du poste et le point extrême de l'enveloppe extérieure du robot définie comme "la portée horizontale du robot en extension maximale", identifiée dans les spécifications des constructeurs.

En calculant une distance minimale théorique (d_{min}) pour l'accessibilité du robot aux points de préhension des pièces, il sera possible de sélectionner les robots qui ont une portée suffisante pour rejoindre ces points.

La zone "critique" d'interaction homme-machine oblige elle aussi de contraindre la portée maximale du robot. En effet, il est essentiel que le robot ne pénètre pas dans cette zone et **ne puisse y pénétrer**, pour des raisons évidentes de sécurité: un robot de portée plus grande devra travailler dans une position toujours repliée en deçà de ses capacités ou être en position plus dégagée du tour amenant un agrandissement de la zone d'implantation du poste sans raisons valables.

Ainsi, **tous les robots dont l'enveloppe de travail est supérieure à la distance maximale permise**

(d_{max}) **seront écartés.**

L'enveloppe de travail peut donc s'exprimer par la relation suivante:

$$\boxed{d_{min} \leq \text{portée}_{robot} \leq d_{max}}$$

Le calcul de d_{min} et d_{max} pour chacun des deux types d'implantation, permet donc de cerner une première exigence du poste à robotiser.

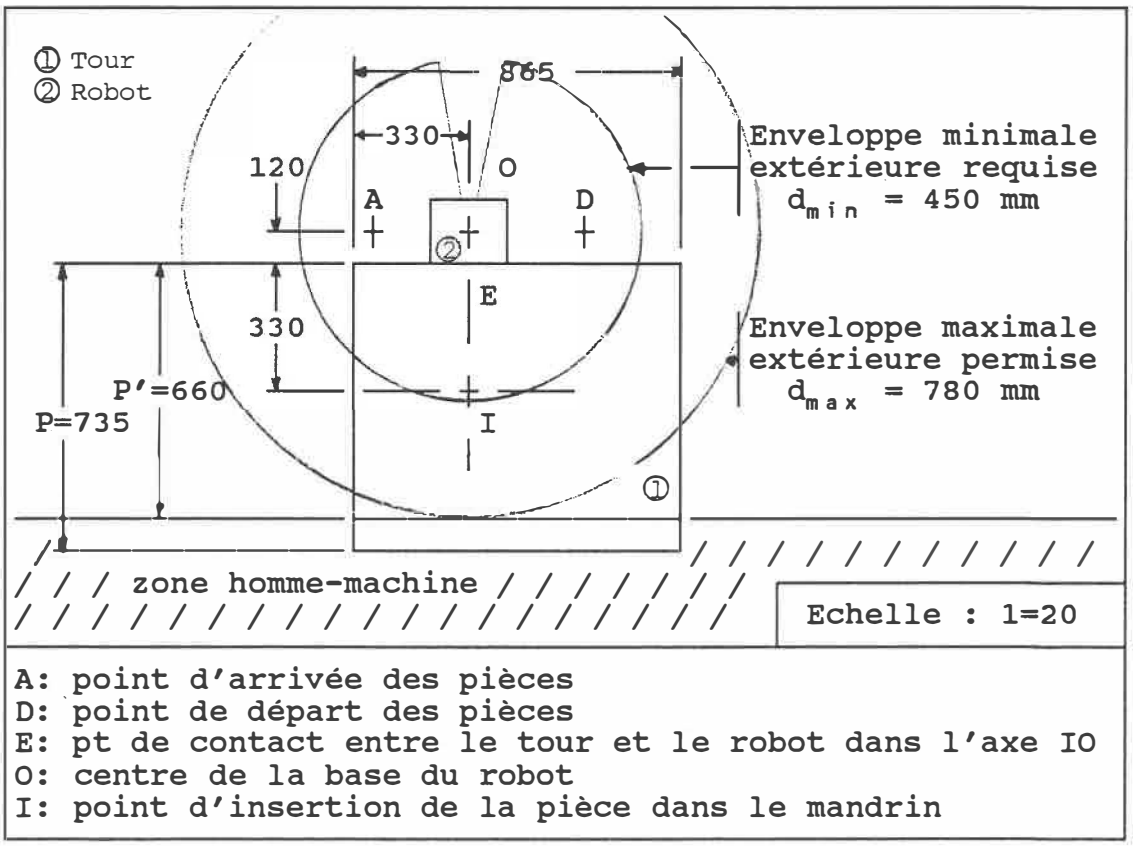
1.a) Implantation #1: le robot au sol.

La distance minimale requise pour l'accessibilité du robot, est déterminée d'abord et avant tout à partir du besoin d'accéder à la machine-outil au point d'insertion des pièces à usiner, entre les mors du mandrin. L'emplacement des palettes étant localisé subséquemment à celui du robot par un positionnement à l'intérieur de son enveloppe de travail, l'accessibilité des points de palettisation et de dépalettisation n'est donc pas un facteur déterminant dans ce type d'implantation.

Une fois que le choix du positionnement du robot est arrêté, la portée de son effecteur doit être suffisante pour accéder à la broche de la machine-outil. Ayant à

l'esprit la détermination d'une distance minimale, on situe le robot immédiatement adossé à la machine-outil, ne laissant aucun espace libre entre eux[1].

La figure suivante montre, par une vue de plan, l'enveloppe de travail horizontale que devrait posséder un robot au sol en regard des contraintes du poste.



A: point d'arrivée des pièces
D: point de départ des pièces
E: pt de contact entre le tour et le robot dans l'axe IO
O: centre de la base du robot
I: point d'insertion de la pièce dans le mandrin

Figure 3.1 L'enveloppe de travail d'un robot au sol (vue de plan, accès au tour par l'arrière)

---

(1) L'accessibilité du panneau arrière de la machine-outil, en cas de réparations majeures, n'est pas compromise. Montée sur une table à roulettes, la machine-outil pourra être déplacée aisément.

La distance minimale théorique (d_{min}) à couvrir est déterminée par la distance horizontale entre l'axe de la broche et l'arrière de la machine-outil (IE) plus la moitié de la largeur occupée par la base du robot (EO), exprimée par:

$$d_{min} = IE + EO$$

Ainsi, pour le poste de tournage, où IE = 330 mm et EO = 120 mm[1], on obtient:

$$d_{min} = 450 \text{ mm}$$

La distance maximale permissible (d_{max}) est constitué pour sa part, de la profondeur de la machine-outil derrière les contrôles (P') plus la moitié de la largeur occupée par la base du robot (EO), exprimée par:

$$d_{max} = P' + EO$$

Ainsi, pour le poste de tournage, où P' = 660 mm et

---

(1) Cette valeur est déterminée arbitrairement, à partir d'un modèle connu. Elle n'entend pas représenter une moyenne mais simplement être une donnée réaliste. En choisissant une valeur beaucoup plus grande, il résulterait un rejet d'un plus grand nombre de robots dont la portée ne serait plus adéquate et qui seraient éliminés à tort. Cependant cette donnée devra être revisée lors du choix définitif du robot.

EO = 120 mm, on obtient:

$$d_{max} = 780 \text{ mm}$$

Ainsi seront éliminés tous les robots au sol dont la portée horizontale maximale se situe en deçà de 450 mm et au delà de 780 mm, soit:

$$\boxed{450 \text{ mm} \leq \text{portée}_{\text{robot au sol}} \leq 780 \text{ mm}}$$

1.b) Implantation #2: le robot suspendu.

Encore une fois, la contrainte face à la tâche est l'accessibilité à la broche du tour mais en plus il faut considérer le ou les points de prise des pièces brutes et de dépose des pièces usinées.

Contrairement au premier cas, l'emplacement des palettes et par conséquent, l'accessibilité aux points de palettisation et de dépalettisation conditionne la portée du robot suspendu.

Le choix de l'emplacement des palettes de pièces dans une optique de minimisation des distances à parcourir par le robot, est de les situer à proximité de l'arrière de la machine-outil.

Un robot fixe devra être monté de telle façon que le centre de l'articulation de l'épaule se situe, en x, à mi-chemin entre les deux points à atteindre et en y, à une hauteur telle que l'interférence avec le protecteur visuel monté sur le tour soit évitée.

La figure ci-dessous montre l'enveloppe de travail que devrait posséder un robot suspendu en regard des contraintes du poste.

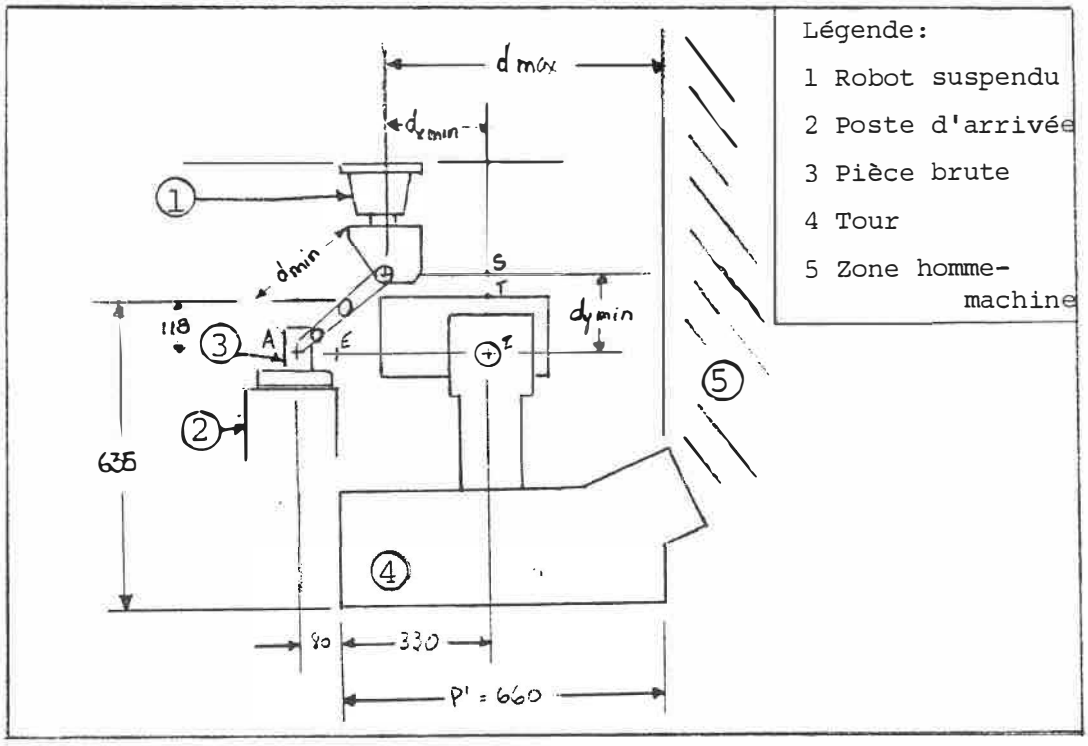


Figure 3.2 L'enveloppe de travail d'un robot suspendu (vue de profil)

Ceci s'exprime par les équations suivantes:

$$d_{x\,min} = (IE + EA) / 2$$

$$d_{y\,min} = IT + TS$$

et

$$d_{min} = \sqrt{d_{x\,min}^2 + d_{y\,min}^2}$$

où IE est la distance horizontale entre l'axe de la broche et l'arrière de la machine, EA est la distance horizontale entre ce point arrière de la machine et le centre d'une pièce située dans le même plan à un poste d'arrivée, IT est la distance verticale entre la hauteur de la broche et la partie la plus haute de la machine et TS est une valeur estimée pour le rayon de l'épaule du robot augmentée d'une tolérance entre le tour et celui-ci.

Ainsi, dans le cas du poste de tournage, où IE = 330 mm, EA = 80 mm et IT = 118 mm, on obtient:

$$d_{x\,min} + (330 + 80) / 2 = 205 \text{ mm}$$

$$d_{y\,min} = 118 + 32 = 150 \text{ mm}$$

et

$$d_{min} = \sqrt{205^2 + 150^2} = 254 \text{ mm}$$

Cette valeur est la plus petite possible puisqu'un seul point de palettisation a été choisi, à la même hauteur et dans le même plan que la broche.

Si l'on désire conserver les deux postes de palettisation sans affecter la valeur minimale de l'enveloppe de travail du robot, il faudrait alors prévoir la mobilité du robot dans l'axe z, à l'aide d'un système à glissières par exemple, afin de lui permettre le déplacement latéral dont il aurait besoin; on peut estimer ce déplacement latéral à quelques centaines de millimètres tout au plus, en plaçant les deux palettes côte à côte.

La distance maximale permissible est, pour les mêmes raisons que dans l'implantation #1, constituée de la distance entre le centre de la base du robot et la ligne frontière de la zone homme-machine, exprimée par:

$$d_{max} = P' - IE + d_{xmin}$$

où P' est la profondeur de la machine-outil derrière les contrôles et IE est la distance entre l'axe de la broche et l'arrière de la machine.

Ainsi, pour le poste de tournage, où P' = 660 mm, IE = 330 mm et d_{xmin} = 205 mm, on obtient:

$$d_{max} = 535 \text{ mm}$$

Ainsi seront éliminés tous les robots suspendus dont la portée horizontale maximale est en deçà de 254 mm et au delà de 535 mm, soit:

$$254 \text{ mm} \leq \text{portée}_{\text{robot suspendu}} \leq 535 \text{ mm}$$

3.1.2 Le degré de flexibilité

Le second besoin à évaluer est le degré de flexibilité que devrait avoir le robot de chargement et de déchargement afin de répondre aux exigences de la manipulation.

Le degré de flexibilité d'un robot quelqu'il soit, se reflète par ses capacités d'articulation dans l'espace. On définit cette caractéristique par le nombre d'axes de liberté qu'il possède. Plus un robot possède d'axes de liberté, meilleure est sa flexibilité.

Pour comprendre comment la manipulation des pièces s'effectue entre les points de palettisation et le point d'insertion sur la machine-outil, on définit un système de coordonnées cartésiennes xyz.

La figure suivante montre l'orientation du système de coordonnées utilisé au poste de tournage.

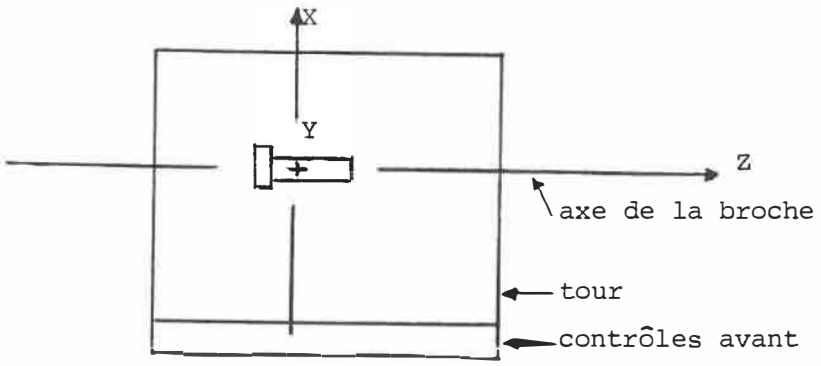


Figure 3.3 Système de coordonnées utilisé au poste de tournage (vue de plan)

Le système de coordonnées utilisé est le même que celui de la machine-outil. Il est défini de la façon suivante: l'axe des x correspond à l'axe perpendiculaire à l'axe de la broche dans le plan horizontal (axe transversal), l'axe des y correspond à l'axe verticale perpendiculaire au plan xz et l'axe des z correspond à l'axe de la broche (axe longitudinal).

Ainsi, lors du déplacement du robot entre les points de palettisation aux postes d'arrivée et de départ et le point d'insertion entre les mors du mandrin de la machine-outil, les 3 axes sont mis à contribution: l'axe des x pour l'approche à la broche, l'axe des y pour pallier à la différence possible de hauteur entre les palettes et la broche, et l'axe des z pour l'insertion entre les mors du mandrin et les déplacements longitudinaux.

De plus, un quatrième axe est requis au niveau du poignet du robot, pour les besoins de dépose des pièces.

La figure ci-dessous montre les positions de l'effecteur du robot dans les situations de prise de pièces au niveau des palettes et de prise de pièces lors de l'insertion. Dans la position 1, l'axe de la pièce est orienté en y, dans la position 2, il est orienté en z.

Position 1: Pièce sur palette

Position 2: Pièce lors de l'insertion

Figure 3.4 Prises de pièce par l'effecteur du robot

Pour passer d'une position à l'autre, le poignet du robot doit effectuer une rotation de 90° autour de l'axe des x.

En simplifiant au maximum les déplacements i.e. qu'en ne considérant qu'un seul point de palettisation, confondant le poste d'arrivée avec le poste de départ ou

encore en donnant la fonction de déplacement longitudinale au système portique, on pourrait théoriquement opérer avec un robot qui n'aurait que 4 axes de liberté.

Sans celà, en considérant une fonction de palettisation plus complexe, à pièces multiples, les robots 5 ou 6 axes deviennent essentiels. Ils ne seront donc pas écartés car ils répondent aussi aux besoins présents et futurs du poste.

3.1.3 Le temps de cycle

Cette donnée est très importante dans la mesure où le robot choisi doit être capable de rencontrer les besoins de la production.

La détermination du temps requis pour l'exécution du chargement et du déchargement ainsi que l'évaluation de la distance parcourue par l'effecteur du robot dans l'exécution de ces tâches permettront de reconnaître une vitesse minimale acceptable pour le robot afin qu'il puisse rencontrer le niveau de productivité recherché. Cette vitesse sera confrontée à la "vitesse maximum sans charge" des spécifications des constructeurs de robots.

Le temps de chargement et de déchargement

Un des objectifs fixé par le projet veut que le robot soit vu comme un outil de remplacement adéquat à l'opération manuelle donc capable de faire les opérations de chargement et de déchargement dans un temps comparable à celui que prendrait l'opération manuelle. Dans le cas contraire, il y aurait une perte significative de productivité(1).

Le temps moyen requis pour effectuer une opération manuelle de déchargement et de chargement, a été estimé à 0,25 minutes; le robot sélectionné devrait donc réaliser les mêmes opérations dans le même temps.

La distance à parcourir

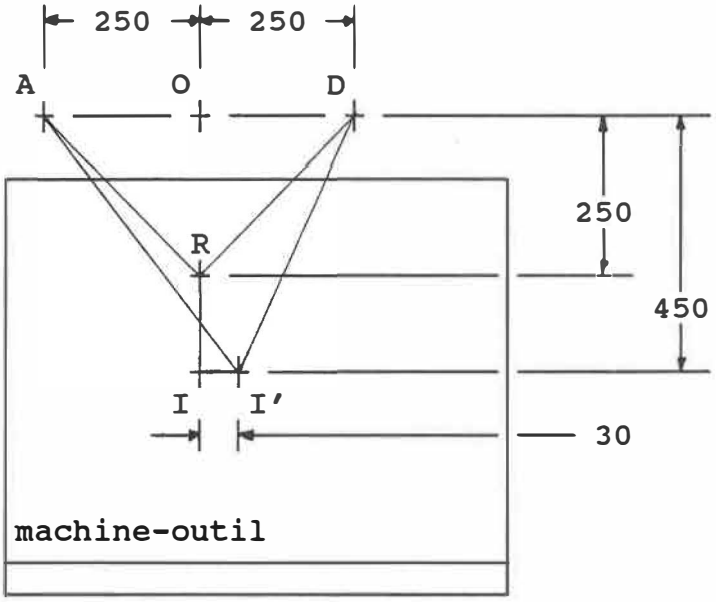
3.a) Implantation #1: le robot au sol.

Définissant le point R comme la position de l'extrémité du robot en attente, c'est aussi la position au départ et à la fin d'un cycle.

---

(1) Faire travailler le robot en temps masqué ou en temps supplémentaire seront des options à envisager dans une étape ultérieure du développement du poste.

La figure suivante montre la trajectoire théorique parcourue par l'extrémité du robot au sol pour le chargement et le déchargement[1].



Légende:
O: centre du robot
A: pt d'arrivée
D: pt de départ
I: pt d'insertion
I': pt intermédiaire dans l'axe
R: pt de recul

Figure 3.5 Trajectoire théorique minimale d'un robot au sol (vue de plan)

Le tableau suivant détaille les fonctions, les déplacements et les distances théoriques parcourus par l'extrémité du robot au sol.

---

(1) Cette trajectoire a été volontairement minimisée par des déplacements rectilignes et par sa réduction dans le plan xz afin d'en simplifier les calculs. Ces calculs qui de toute façon sont basés sur des données approximatives, vont donner un résultat approchant des valeurs réelles mais suffisant pour la prise de désicion quant à la limite inférieure pour la vitesse d'exécution du robot.

Fonctions du robot	Déplacements	Distances (mm)
<u>Chargement:</u>		
1. Aller chercher une pièce brute au point A, sur la palette d'arrivée	RA(1)	354
2. Transporter la pièce jusqu'à hauteur de la broche	AI'(2)	530
3. Insertion dans le mandrin	I'I	30
4. Retour en position d'attente	IR	200
<u>Déchargement:</u>		
5. Aller chercher la pièce sur le tour	RI	200
6. Retrait de la pièce du mandrin	II'	30
7. Transporter la pièce jusqu'au point D, sur la palette de départ	I'D(3)	501
8. Retour en position d'attente	DR	354
		2199

(1) $RA = DR = \sqrt{AO^2 + OR^2} = \sqrt{250^2 + 250^2} = 354$
(2) $AI' = \sqrt{450^2 + 280^2} = 530$
(3) $I'D = \sqrt{450^2 + 220^2} = 501$

Tableau 3.1 Les distances théoriques à parcourir par l'extrémité d'un robot au sol

3.b) Implantation #2: le robot suspendu.

Considérant la position initiale de l'effecteur du robot (point R) à une hauteur suffisante au-dessus du point d'insertion (point I), les déplacements théoriques minimales effectuables par celui-ci suivront alors le tracé de la figure 3.6.

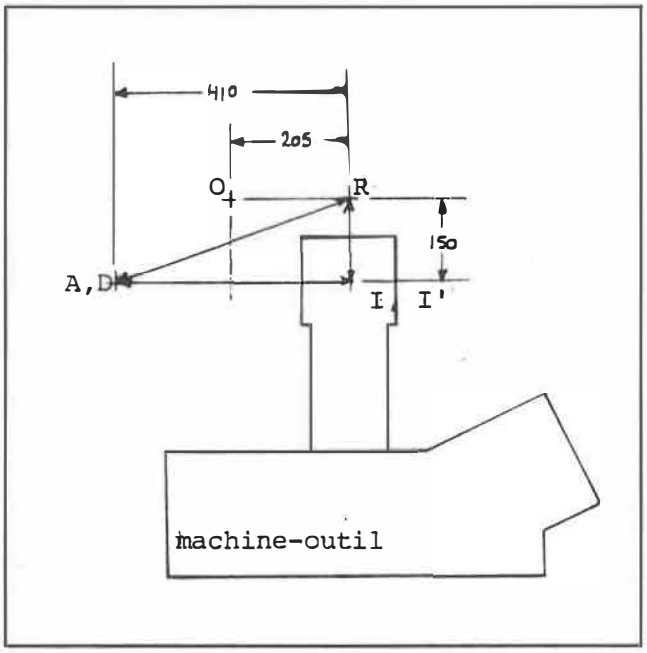


Figure 3.6 Trajectoire théorique minimale d'un robot suspendu (vue de profil)

Le tableau suivant montre les résultats obtenus pour chacune des fonctions de manipulation définies dans le précédent tableau.

Fonctions	Déplacements	Distances (mm)
1	RA(1)	437
2	AI'(2)	411
3	I'I	30
4	IR(3)	150
5	RI	150
6	II'	30
7	I'D	411
8	DR	437
		2056

(1) $RA = DR = \sqrt{(d_{y_{min}})^2 + AI^2} = \sqrt{150^2 + 410^2} = 437$
(2) $AI' = I'D = \sqrt{410^2 + 30^2} = 411$
(3) $IR = d_{y\,min}$

Tableau 3.2 Les distances théoriques à parcourir par l'extrémité d'un robot suspendu

<u>La vitesse minimale requise</u>

Pour un temps d'exécution comparable à l'opération manuelle, il faudrait appliquer au robot une vitesse moyenne v_{moy}, exprimée comme suit:

$$V_{moy} = D/T$$

où D est la distance totale à parcourir et T le temps total de la manutention.

Ainsi, dans le cas de l'implantation #1, on obtient:

$$V_{moy} = 2199 \text{ mm} / 15 \text{ sec} = 147 \text{ mm/sec}$$

Dans l'implantation #2, on obtient:

$$V_{moy} = 2056 \text{ mm} / 15 \text{ sec} = 137 \text{ mm/sec}$$

Afin d'établir la relation entre la vitesse maximale du robot sans charge, telle que spécifiée par les constructeurs et la vitesse requise pour les besoins du poste, un facteur de 2[1] est appliqué à la vitesse moyenne. On obtient la relation suivante:

$$V_{max} \geq 2V_{moy}$$

Et ainsi, pour l'implantation d'un robot au sol, on obtient:

$$\boxed{V_{max\ robot\ au\ sol} \geq 294 \text{ mm/sec}}$$

(1) Réf. K.Ghosh

et pour l'implantation d'un robot suspendu, on obtient:

$$\boxed{V_{max\ robot\ suspendu} \geq 274\ mm/sec}$$

3.1.4 Les besoins de la production

Il faut tenir compte ici, de tous les éléments particuliers de la production qui ont un impact sur le système de manutention des pièces au niveau du poste à robotiser. Par exemple, a-t-on besoin d'un ou de plusieurs effecteurs et de quels types devraient-ils être, un système de reconnaissance de formes est-il nécessaire et quel serait-il, etc.?

Dans le cas présent, aucun de ces éléments ne peut être retenu comme préalable à l'implantation du système. Ainsi, ce facteur n'influence pas le choix du robot.

3.1.5 La charge à manipuler

D'une part, la machine-outil possède une capacité de production limitée par la contrainte du dimensionnement des pièces pouvant être montées et usinées sur celle-ci.

D'autre part, le robot possède une capacité de charge portante, en bout de poignet, limitée par des contraintes de construction. Entre les deux, il y a aussi la contrainte relative à l'automatisation de l'usinage des pièces.

Cette dernière contrainte apparaît nettement dans le projet du poste de tournage où l'amenée de la contre-pointe en butée sur la pièce ne peut être effectuée automatiquement sans apporter des modifications importantes à la machine-outil.

Pour ne pas avoir d'interventions manuelles de ce type à l'intérieur du processus d'usinage, il faudrait donc que la pièce à usiner soit montée en l'air i.e. sans le support de la contre-pointe. Dans ce cas, la longueur des pièces admises dans le processus automatisé devrait être moindre que ce que permet la machine-outil dans les conditions de manutention manuelle. Par exemple, une pièce cylindrique en laiton, montée en l'air, de 10 cm de longueur par 10 cm de diamètre, possède comme charge une valeur de 6,7 kg, calculée comme suit:

$$C = \frac{p_s \times V}{1000}$$

où p_s = le poids spécifique du laiton (8,5 g/cm^3)
V = le volume de la pièce ($\pi r^2 x l$)

$$C = \frac{8,5 \times \pi (5)^2 \times 10}{1000} = 6,7 \text{ kg}$$

Ainsi il est possible d'établir une borne supérieure quant à la charge portante du robot face à la capacité du tour mais non face aux besoins du poste.

Le poste étudié ne possède pas de dossier historique quant au type de production à laquelle il répond effectivement. Mais en introduisant un facteur de sécurité de 2, pour tenir compte principalement de la charge que constitue l'effecteur, le robot sélectionné devrait pouvoir déplacer des charges allant jusqu'à 2C soit 13,4 kg, si l'on veut répondre aux capacités de la machine-outil. En fait, très peu de robots de petits formats ont des capacités de charge portante aussi grandes.

Considérant ce critère en regard des autres déjà analysés, il apparaît important de ne rejeter, à ce stade-ci, aucun robot pour ses faibles capacités de charge portante mais d'en faire une évaluation qualitative en regard d'une seconde sélection.

3.1.6 La précision et la répétabilité du positionnement

Ces facteurs sont liés au positionnement des pièces sur les palettes comme sur la machine-outil.

Dans le cas bien précis du système de mandrin pneumatique du tour Hercus, l'ouverture et la fermeture des mors s'effectuent par un déplacement radial des mors de 1 millimètre.

Face à l'exigence de la machine-outil, il est nécessaire que la précision du robot soit supérieure à ± 1 mm afin d'éviter que les pièces butent sur l'extérieur des mors lors de leur insertion dans le mandrin ouvert.

Etant donné que, pour les fins d'usinage, la pièce doit venir s'appuyer au fond du mandrin, il est important que le robot possède une précision et une répétabilité suffisante, fort probablement supérieur à 1 mm, pour que la pièce elle-même conserve sa précision. On peut cependant prévoir que la tendance au dépassement du point extrême, par le robot, devra être compensé par une bonne flexibilité de son poignet.

La précision nécessaire au niveau de la palettisation comme de la dépalettisation peut être importante et sera relative au type de support de pièces utilisé mais aucune valeur quantitative ne peut être avancée à ce moment-ci.

3.1.7 Les conditions environnementales

Connaissant le type d'environnement dans lequel évoluera le poste de tournage, il est possible de faire ressortir les points contraignant le choix du robot.

Par exemple, quel serait le niveau de bruit ou de propreté acceptable, possède-t-on les installations permettant l'opération de moteurs pneumatiques, etc.?

Ainsi, dans le cas présent, son environnement premier est celui d'un laboratoire de recherche mais il est également destiné à l'usage de l'enseignement de premier cycle. Dans ces conditions, il est souhaitable de privilégier le moteur électrique comme type d'actionnement des articulations du robot à cause de tous ses avantages reconnus de propreté, de faible bruit, de faible consommation d'énergie, etc.

3.1.8 La sécurité

Le facteur sécurité se révèle très important dans l'analyse du poste à robotiser surtout lorsque demeurent des fonctions manuelles liées à ce poste.

Son impact a été déterminant dans la fixation d'une limite maximale à l'enveloppe de travail du robot face au poste de tournage.

3.1.9 La fiabilité

L'importance du facteur fiabilité apparaît surtout dans le cas où le poste à robotiser doit être intégré à une chaîne de production ou à un atelier flexible.

Dans ce cas-ci, son influence n'est pas significative sur la première sélection du robot.

3.1.10 Les interfaces robot-machine

Les contraintes d'interfaces robot-machine sont difficilement cernables à ce stade-ci de l'analyse. Seul l'expérience révélera les incompatibilités de certains types de robots face à certains types de machine-outil. Ce dernier facteur n'influence donc pas la première sélection de robot.

Ainsi se terminent la première évaluation et la quantification des besoins relatifs au poste à robotiser.

3.2 Sélection du robot

Résumant la section précédente par le tableau ci-dessous, toutes les contraintes du poste sont clairement identifiées en regard des facteurs critiques étudiés.

Facteurs critiques	Les contraintes du poste de tournage
Enveloppe de travail:	Impl.1: 450 $\leq P \leq$ 780 mm Impl.2: 254 $\leq P \leq$ 535 mm
Degré de flexibilité:	4 axes et plus
Vitesse maximale sans charge:	Impl.1: $V_{max} \geq 294$ mm/sec Impl.2: $V_{max} \geq 274$ mm/sec
Besoins de la production:	aucune restriction
Charge à manipuler:	aucune restriction
Précision:	±1 mm
Conditions environnem.:	labo. d'enseignement
Sécurité:	zone d'accès limité
Fiabilité:	aucune restriction
Interface homme-machine:	aucune restriction

Figure 3.3 Les contraintes du poste en regard des facteurs critiques.

3.2.1 Les robots qui répondent aux besoins du poste

L'évaluation quantitative face aux exigences du poste de tournage a porté sur trente et un robots, provenant de sources différentes; les spécifications de chacun sont présentées à l'annexe B. De ces trente et un robots, six seulement ont été retenus en première sélection parce qu'ils répondaient adéquatement aux besoins du poste.

3.2.2 Les critères de sélection

En face d'un choix définitif, cette seconde méthode de sélection doit permettre de sélectionner le robot démontrant les meilleures caractéristiques.

Pour ce faire, il faut regrouper l'ensemble des critères de sélection par classe à laquelle on affecte une valeur de pondération justifiant son importance et dont le total est de 1.0, telle que le montre le tableau suivant.

Critères		
Classes	Pondérations	Eléments
Technique	0.40	axes précision vitesse moteurs effecteurs capacité de charge enveloppe capteurs implantation
Economique	0.30	RIO coûts
Informatique	0.20	mémoire micro-processeur programmation entrées/sorties interfaces intégrés
Service	0.10	temps de livraison service après vente

Tableau 3.4 Les critères de sélection de robots

Ainsi, chacun de ces éléments sera évalué selon le degré de "satisfaction" qu'il procure. Cette satisfaction est relativisée sur une échelle de 0 à 3 présentée ci-dessous:

3 : très satisfaisant
2 : suffisant
1 : insatisfaisant
0 : ne s'applique pas

La procédure suivante consiste à reporter à la classe, en gardant la même échelle, le total des points alloués à chacun des critères de base. En affectant à ce pointage par classe, leur pondération correspondante et en sommant le tout, on obtient le pointage final qui déterminera le choix définitif du robot.

3.2.3 Choix proposé

En face des six choix retenus, le tableau 3.5 montre les résultats obtenus après l'application de la seconde méthode de sélection.

Il ressort nettement que le robot **SRS-M1** de **CRS Plus** est de loin le plus satisfaisant. Ses caractéristiques techniques sont exceptionnelles, la compagnie ontarienne a ses distributeurs au Québec et le prix est compétitif.

Robots / Critères	Atlas (Technovate)		Model 5440 (Technovate)		Jupiter (Amatrol)	
	point	valeur	point	valeur	point	valeur
Technique (0.40)	1	0.4	1	0.4	2	0.8
Economique (0.30)	1	0.3	1	0.3	1	0.3
Informat. (0.20)	2	0.4	2	0.4	1	0.2
Service (0.10)	1	0.1	1	0.1	1	0.1
Total pondéré:		1.2		1.2		1.4

Robots / Critères	Movemaster II (Mitsubishi)		Armdroid II (Colne R)		SRS-M1 (CRSPlus)	
	point	valeur	point	valeur	point	valeur
Technique (0.40)	2	0.8	3	1.2	3	1.2
Economique (0.30)	1	0.3	1	0.3	1	0.3
Informat. (0.20)	3	0.6	3	0.6	3	0.6
Service (0.10)	1	0.1	1	0.1	3	0.3
Total pondéré:		1.8		2.2		2.4

Tableau 3.5 Résultats comparatifs d'évaluation des six robots sélectionnés

3.2.4 Choix retenu

De décision départementale, le choix retenu dans l'immédiat comme système robotique de chargement et de

déchargement au poste de tournage est le robot **IRb-6** de la compagnie **ASEA** dont la description générale est présentée à l'annexe C.

Ce robot, étant présentement disponible au laboratoire de robotique de l'Ecole Polytechnique, procure aux instances décisionnelles un haut degré de satisfaction face au critère économique. La poursuite de la présente recherche ne souffrira pas de retards importants à cause de l'achat d'un nouveau robot.

Puisque ce robot ASEA sera utilisé lors de l'implantation du poste, ses caractéristiques seront décrites et commentées en détails dans les chapitres suivants.

Parmi ses principales caractéristiques techniques(1), on retrouve:

- poids à manipuler admissible, pince comprise: 6 kg.,
- nombre d'axes de liberté: 5,
- précision de répétition au poignet: ± 0,2 mm,
- vitesse (mouvement du bras, radial): 1,1 m/sec,
- portée horizontale maxi. (en bout de pince): 1200 mm.

---

(1) Réf. Manuel ASEA 110-302F, p.8 et suivantes.

Même si ces caractéristiques sont intéressantes, ce robot ASEA n'aurait pas été retenu en première sélection puisque sa portée horizontale maximale excède 780mm qui est la valeur de la portée optimum calculée précédemment.

Cependant, selon les critères de la seconde sélection, le robot ASEA obtiendrait une cote de 2.0 répartie comme suit:

Critère	Point	Valeur pondérée
technique	2	0.8
économique	3	0.9
informatique	1	0.2
service	1	0.1
Total pondéré:		2.0

Ce pointage s'explique en grande partie par l'ancienneté de cet équipement, datant des débuts des années '70. Il reflète le niveau de satisfaction que l'on peut en retirer tant au point de vue de ses performances techniques, informatiques, que du service espéré de la compagnie.

CHAPITRE IV

MANIPULATION DE PIECES

Cet aspect de l'analyse est particulièrement important pour clarifier les modalités d'opérations du robot: quels types de pièces seront amenés au poste, comment le robot pourra les atteindre et les manipuler sont parmi les questions importantes à se poser à l'étape de la conception.

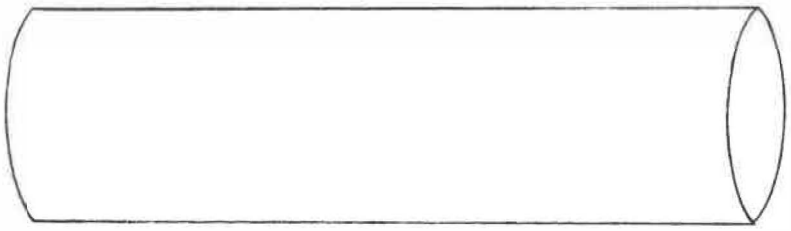
4.1 Choix de pièces

En général, les pièces brutes arrivant à un poste de tournage peuvent être de formes diverses selon les nécessités de l'usinage. Comme la recherche présente ne porte pas sur l'évaluation des capacités de préhension du robot ou encore sur l'adaptativité du robot aux changements de la production, la conception de divers modèles de pièces n'est pas nécessaire.

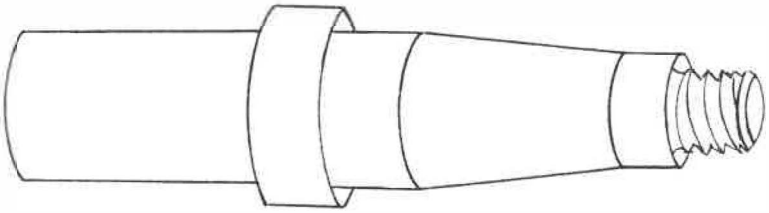
Ainsi, un seul modèle de pièce à usiner a été prévu et conçu spécialement pour les besoins de la présente recherche. Le modèle présenté à la figure 4.1, est également utilisé dans la simulation de la fonction

d'usinage, complément essentiel à la réalisation d'un système intégré[1].

La pièce brute, de forme cylindrique régulière, mesure 97,0 mm de longueur pour un diamètre de 28 mm. Les croquis de cette pièce, dans sa forme brute avant usinage et dans sa forme finie après usinage, sont présentés à la figure 4.1. Cette pièce, faite d'aluminium, sera réalisée en deux phases d'usinage[2].



a) Pièce brute



b) Pièce usinée

Figure 4.1 La pièce à manipuler

(1) Disquette de simulation ci-jointe
(2) Voir le dessin de définition à l'annexe D et la description des phases d'usinage à l'annexe E.

4.2 Présentation aux postes

Les exigences de tout système automatisé demandent une présentation orientée des pièces à manipuler. Ce poste y est également soumis.

La palette devant supporter les pièces brutes au poste d'arrivée comme les pièces finies au poste de départ, est un élément connu de l'atelier flexible. Faite de contreplaqué, elle mesure 120 mm x 112 mm x 18 mm. Elle sera utilisée ici comme donnée de base.

Compte tenu de cette contrainte, il devient évident qu'une telle palette ne peut accueillir plus d'une pièce de la dimension prévue. Il est même nécessaire d'y prévoir un support de pièces afin de les stabiliser lors des manipulations au poste.

Ceci amène à définir la position de la pièce sur la palette. Evidemment placée au centre de la palette, il faut choisir si la pièce sera dans une position verticale ou horizontale. Afin de faciliter sa préhension par l'effecteur du robot et de simplifier la conception du support de pièce, le choix de positionner la pièce verticalement est nettement favorisé.

On comprendra évidemment que s'il y avait plusieurs pièces par lot, il y aurait plusieurs palettes positionnées côte-à-côte. En l'absence de son 6e axe, le robot IRb-6 ne pourra atteindre toutes les positions des pièces ainsi placées en rangées. Il est donc prévu de n'avoir qu'une seule palette par poste.

Tant qu'à la localisation des postes d'arrivée et de départ dans le système de coordonnées du poste de tournage, elle sera connue de façon définitive avec l'implantation robotique.

4.3 Spécifications opérationnelles

La fonction de transfert de pièces n'étant pas automatisée et ne se situant pas dans un contexte de production, il est prévu que l'amenée comme le retrait des pièces se fera de façon manuelle par l'opérateur.

La fonction de l'opérateur sera de placer et de retirer manuellement les pièces des palettes selon les besoins du fonctionnement. Ces emplacements seront identifiées de façon précise par des marqueurs lors de l'installation du système.

CHAPITRE V

ANALYSE FONCTIONNELLE

5.1 Description du système automatisé

Comme tout automatisme, le présent système se compose d'une partie opérative et d'une partie commande. La partie opérative exécute des ordres et retourne des comptes rendus à la partie commande qui contrôle le déroulement des opérations, comme le montre le schéma ci-dessous.

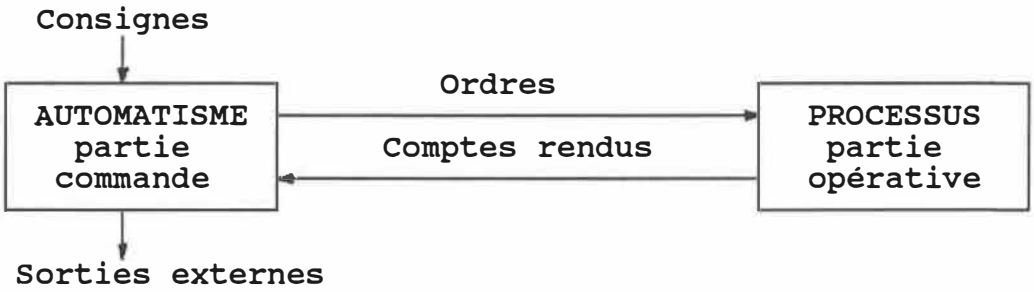


Figure 5.1 Schéma général d'un système automatisé[1]

La partie opérative du poste de tournage est constitué de deux éléments distincts: le tour à commande numérique d'une part et le robot d'autre part. Chacun d'entre eux possède son armoire de commande, son automatisme propre qui leur permet l'autonomie de fonctionnement.

---

(1) Réf. Blanchard,M., 1979, p.18

Comme ces deux éléments doivent être reliés et synchronisés, il devient nécessaire de concevoir une partie commande de niveau hiérarchique supérieur aux commandes machines afin de faire une gestion rationnelle des opérations qu'exécuteront tour et robot. Dans sa globalité, il sera identifié comme étant le système de gestion et contrôle défini au chapitre premier.

Le système automatisé du poste de tournage est donc schématisé de la façon suivante:

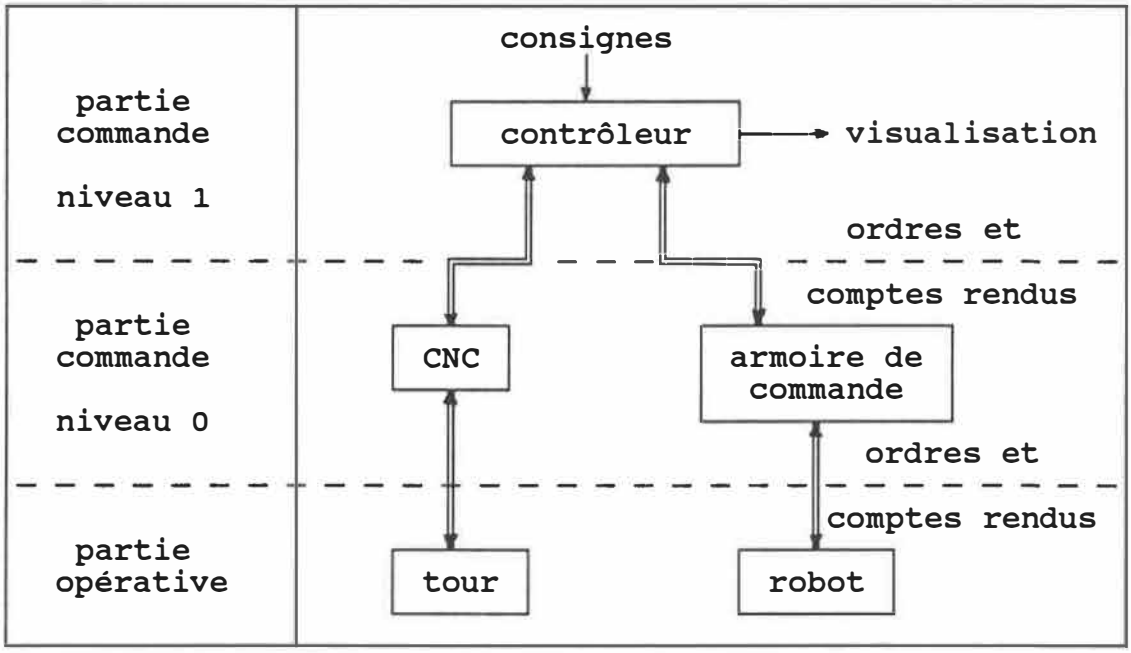


Figure 5.2 Système automatisé du poste de tournage

Dans cette première étape de développement du système qu'est la phase de conception, les opérations des deux éléments de la partie opérative sont prévus pour être complémentaires et mutuellement exclusives c'est-à-dire que lorsque le tour sera en mode de fonctionnement, le robot sera en mode d'arrêt et vice et versa; ceci afin de ne pas rendre le modèle complexe outre mesure.

La définition précise des différentes caractéristiques de la partie commande se fait à l'aide d'un cahier de charges, divisé de la façon suivante:

1) les spécifications fonctionnelles, définissant les fonctions et les informations nécessaires au processus sans présumer des technologies qui seront utilisées,
2) les spécifications technologiques, identifiant les moyens physiques de réalisation et enfin,
3) les spécifications opérationnelles, faisant état du suivi du fonctionnement du système, qui doivent être élaborées à la phase de réalisation.

5.2 Le cahier des charges

5.2.1 Les spécifications fonctionnelles

En étudiant le fonctionnement général du système,

on peut définir le cycle de travail de la manière suivante:

- le mandrin étant ouvert et vide, une pièce étant au poste d'arrivée, le robot et le tour, sous tension, sont en attente,

- la pièce est alors transportée par le robot, du poste d'arrivée jusqu'à la hauteur du mandrin et mise en place entre les mors de celui-ci,

- après la fermeture du mandrin, le robot relâche la pièce et se retire jusqu'à une position d'attente déterminée,

- une fois le robot en arrêt, la première phase d'usinage commence et se termine par l'arrêt de la broche et le retour du chariot porte-outil à son point d'origine, le mandrin demeurant fermé,

- le robot vient alors saisir la pièce dans le mandrin et attend l'ouverture de celui-ci pour l'en retirer,

- une fois le mandrin ouvert, le robot retire la pièce, opère son retournement, la réinsère et attend de nouveau la fermeture du mandrin,

- après la fermeture du mandrin, le robot relâche la pièce et se retire à sa position d'attente,

- une fois le robot en arrêt, la deuxième phase d'usinage s'exécute pour ainsi terminer le cycle d'usinage, le

mandrin demeurant fermé,

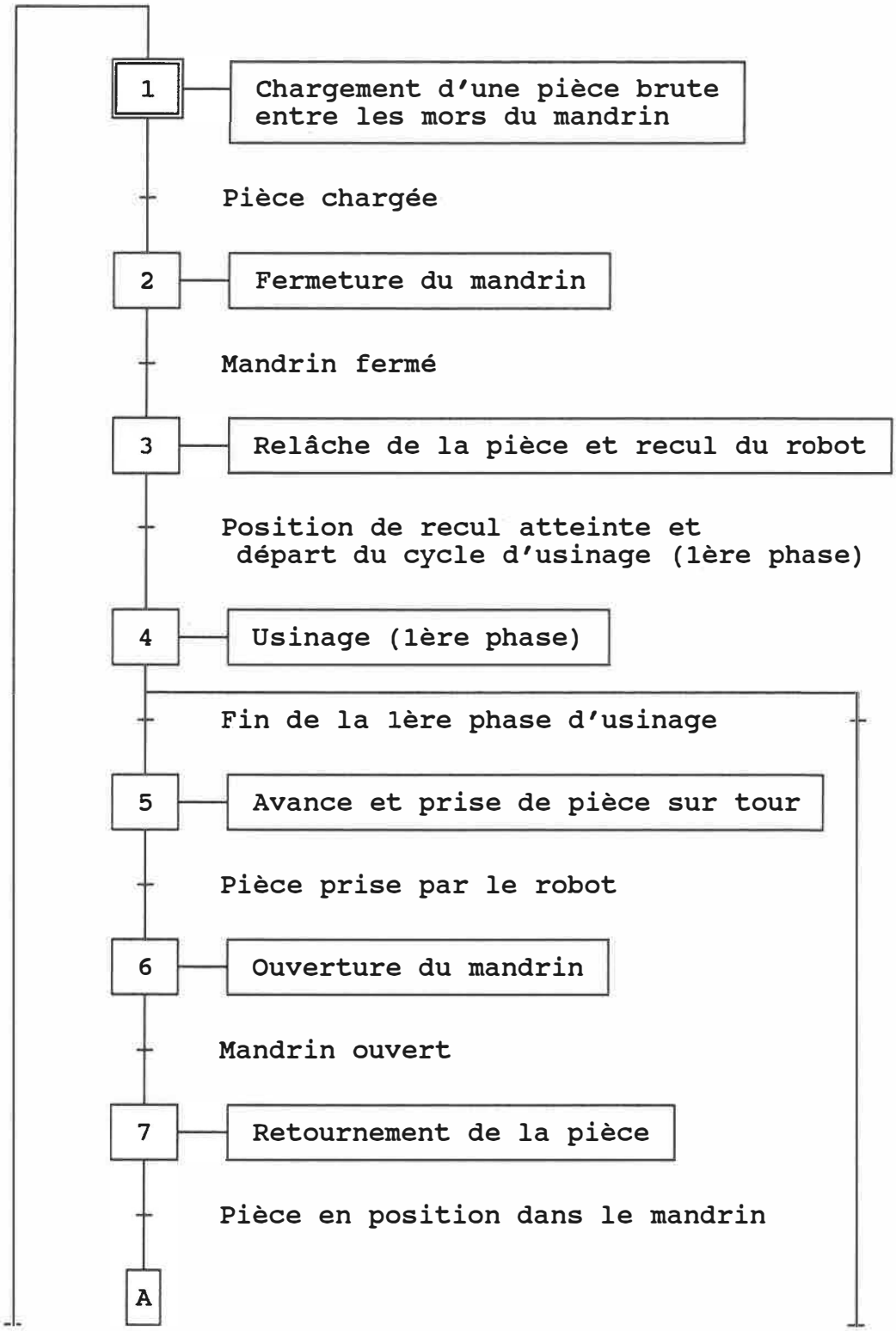
- le robot revient saisir la pièce finie dans le mandrin et attend l'ouverture de celui-ci pour l'en retirer,

- une fois le mandrin ouvert, il transporte alors la pièce usinée jusqu'au poste de sortie et l'y dépose,

- pour ensuite revenir à la position d'attente et un nouveau cycle peut alors commencer.

La représentation du fonctionnement de la partie opérative sous une forme exploitable par la partie commande est modélisée par le grafcet(1) de la figure 5.3. On y reconnait des actions exécutées par le robot (les actions 1,3,5,7,9,11 et 13) et d'autres par le tour (les actions 2,4,6,8,10 et 12). Le saut de programme serait utilisé dans le cas où une seule phase d'usinage est nécessaire à la réalisation de la pièce finie.

(1) Cette méthode, d'origine française (Blanchard, M., 1979), consiste à décrire le fonctionnement général du système dans une forme exploitable directement par un automate programmable conçu à cette fin.
On y explique que les actions décrites dans le fonctionnement général du système "...ne pourront être obtenues que si la partie commande émet des ordres convenables au moment voulu. Les moments voulus seront déterminés d'après les comptes rendus ou informations provenant de la partie opérative." En représentant ... "le fonctionnement de la partie commande comme une succession alternée d'étapes et de transitions, nous associerons à chaque étape les actions à effectuer et à chaque transition, les informations permettant leur franchissement, sous forme d'une condition logique appelée réceptivité."


1
Chargement d'une pièce brute entre les mors du mandrin
Pièce chargée
2
Fermeture du mandrin
Mandrin fermé
3
Relâche de la pièce et recul du robot
Position de recul atteinte et départ du cycle d'usinage (1ère phase)
4
Usinage (1ère phase)
Fin de la 1ère phase d'usinage
5
Avance et prise de pièce sur tour
Pièce prise par le robot
6
Ouverture du mandrin
Mandrin ouvert
7
Retournement de la pièce
Pièce en position dans le mandrin
A

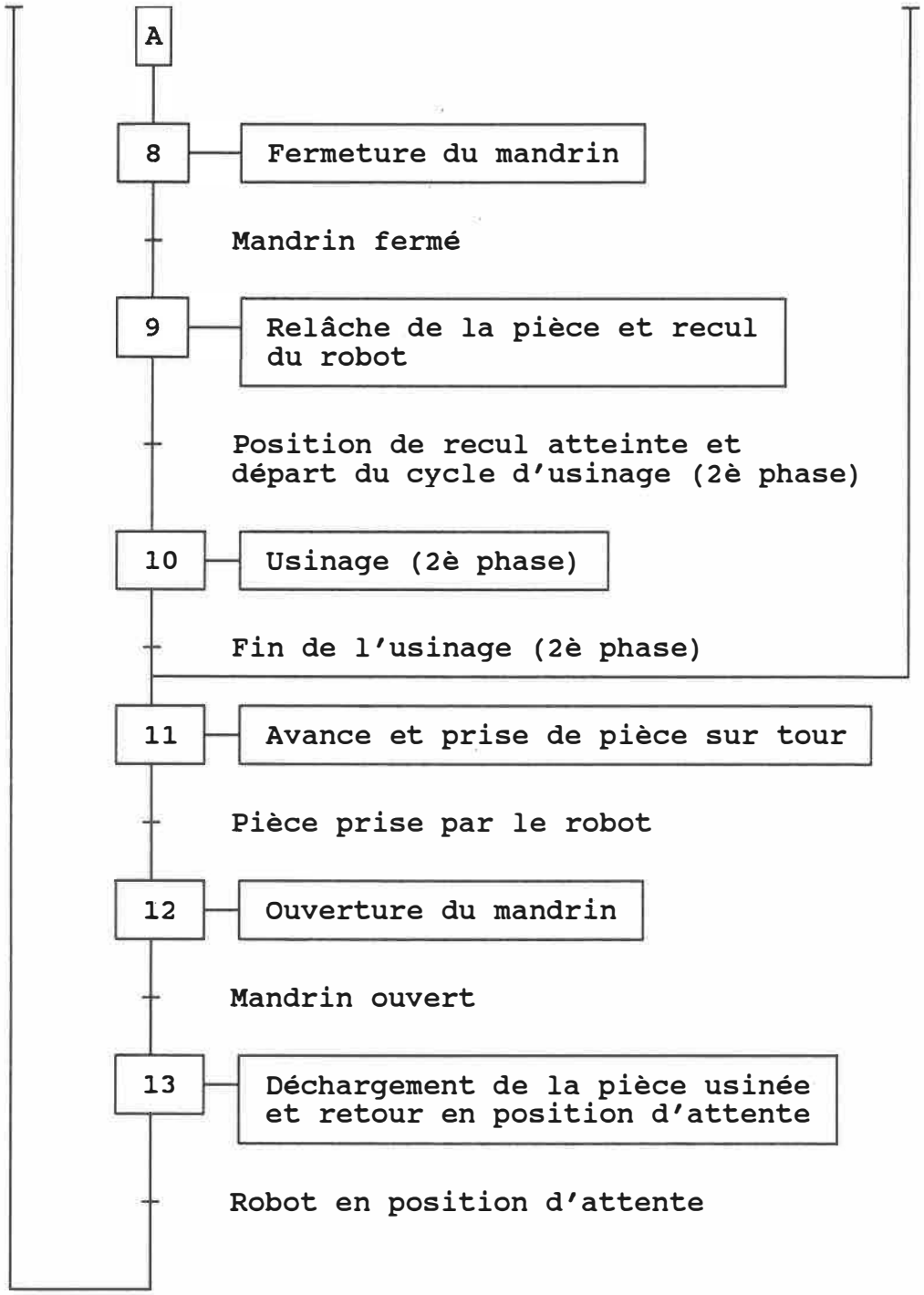


Figure 5.3 Grafcet de la partie commande

5.2.2 Les spécifications technologiques

L'aspect fonctionnel est maintenant connu, mais sans aucune implication technologique. Par exemple, on ne sait pas comment physiquement donner l'ordre de fermeture du mandrin ni comment s'assurer que les ordres sont bien exécutés.

Voulant s'assurer que les ordres sont exécutés, le système de gestion et contrôle comme partie commande de niveau 1, doit pouvoir recevoir un message en provenance du tour ou du robot, par l'intermédiaire de leur partie commande respective, disant que l'action est terminée. Il doit donc les comprendre i.e. être capable de décoder les signaux qu'il reçoit d'eux.

Voulant donner des ordres, celui-ci doit être capable de transmettre un message vers l'une ou l'autre des machines disant qu'une action spécifique doit être entreprise et donc être compris d'eux.

Telle que le montre la figure 5.4, la partie commande de niveau 1 reçoit les informations suivantes en entrée et émet les ordres suivants en sortie.

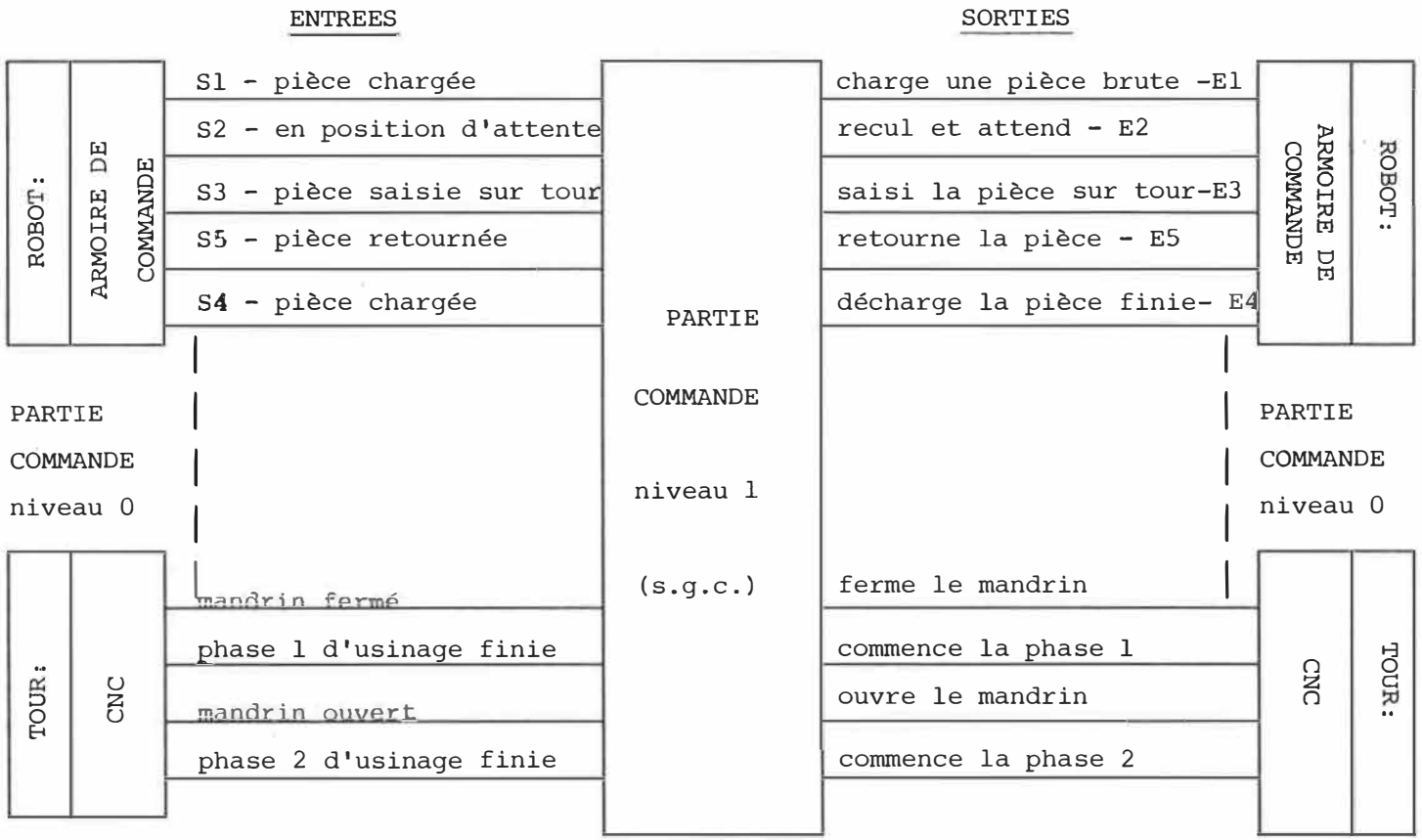


Figure 5.4 Informations transmises entre les deux niveaux de commande du poste

D'un autre côté, il est certain que le tour par l'intermédiaire de sa commande numérique comme le robot par son armoire de commande devront utiliser les canaux de communication dont ils disposent. Ceci est déterminant pour le choix de l'équipement de commande à utiliser comme pour les interfaces qui y seront associées.

5.2.2.1 L'équipement de commande

La contrainte technologique qui va fixer le choix de l'équipement de commande origine du tour Hercus. En effet, l'unique lien de communication avec l'extérieur que possède ce tour est un port RS 232, situé à l'arrière de la machine. Ce port permet une liaison physique avec un micro-ordinateur.

De toute évidence, l'usage d'un micro-ordinateur comme équipement de commande, de gestion et de contrôle pour l'ensemble des opérations au poste de tournage est le choix tout désigné. Celui-ci sera de type IBM-AT et devra être pourvu d'un logiciel de communication nécessaire au traitement des informations.

5.2.2.2 Les interfaces

a) Micro-Tour:

Afin de réaliser le lien physique de communication entre ces deux équipements, il faudra brancher à la sortie du port RS 232 du tour et à une entrée sérielle du micro-ordinateur, un câble de communication RS 232C dont les caractéristiques physiques répondent aux exigences des deux parties. Ce câble est actuellement disponible au laboratoire de Productique du département de G.I.

De plus, des logiciels de communications doivent également être mis en place de part et d'autre, afin de faire la gestion des informations transmises.

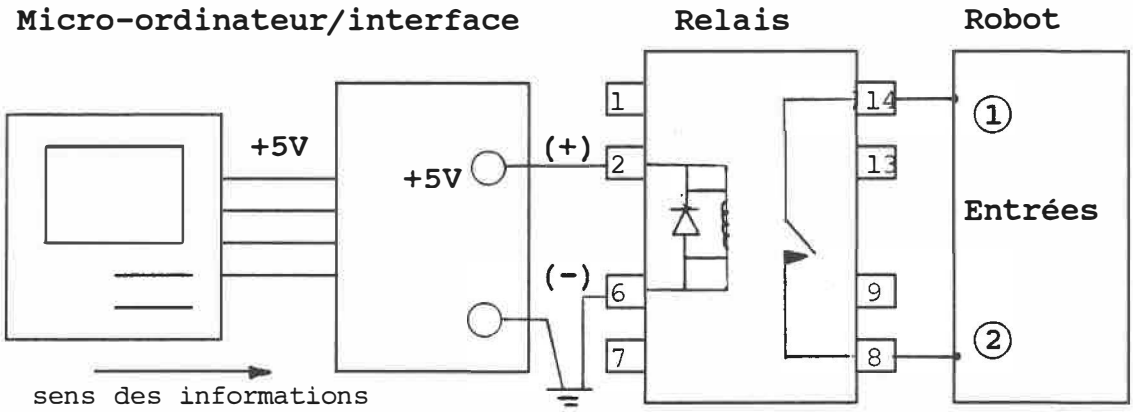
b) Micro-robot:

L'armoire de commande du IRb-6 d'ASEA, dans la version utilisée ici, possède 16 ports d'entrées dont les contacts sont prévus pour une tension de +24V et un courant de 10mA et 14 ports de sorties dont les circuits consistent en des étages de sortie en courant continu pour une charge de 150mA et de +24V pour la commande de relais.(1)

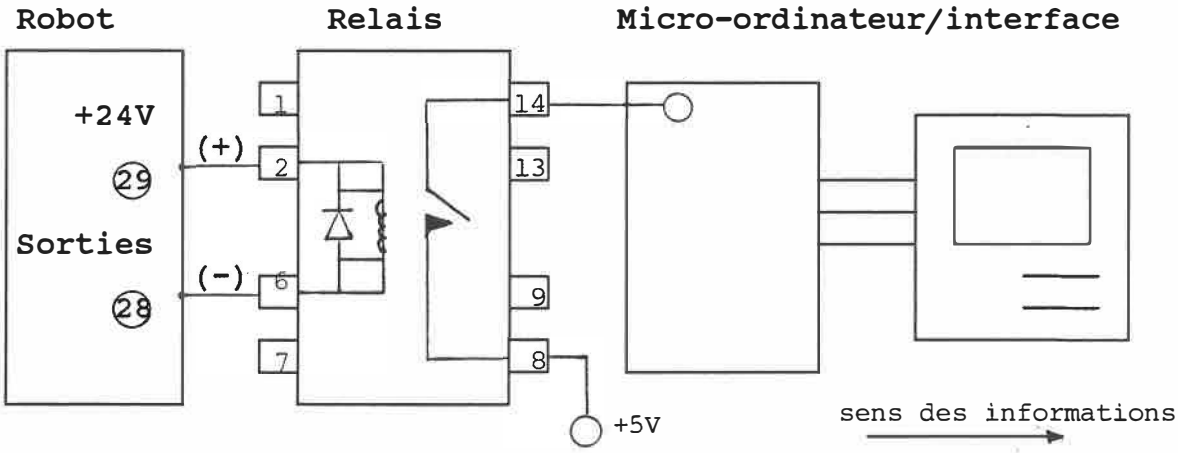
---

(1) Manuel d'information ASEA YB110-303F, p.8,9,10,11.

Ces caractéristiques permettent de le relier à un micro-ordinateur par l'intermédiaire d'une interface à relais. La schématisation du montage de chacun des relais représente soit une fonction à l'entrée soit une fonction à la sortie[1], telle qu'illustrée à la figure 5.5.



a) Montage d'un relais 5V[2] à un port d'entrée du robot



b) Montage d'un relais 24V[2] à un port de sortie du robot

Figure 5.5 Interfaces à relais entre le robot IRb-6 et le micro-ordinateur.

---

(1) Conception réalisée par M. J. O'Shea, professeur au département de génie électrique de Polytechnique.
(2) Relais Magnecraft W107DIP-5 et W107DIP-8.

Comme il est prévu que 5 entrées et 5 sorties de l'armoire de commande du robot seront utilisées pour la transmission des informations, il y aura 5 montages de relais +5V, où +5V correspond au niveau de tension à la sortie du micro, et 5 montages de relais +24V où +24V correspond à la tension à la sortie du robot.

CHAPITRE VI

INTEGRATION DE LA MACHINE-OUTIL

Ce chapitre fait état des possibilités d'intégration du tour avec le système robotique choisi. L'exploration du fonctionnement de sa commande numérique, de ses caractéristiques de programmation et du type de liaisons avec son environnement immédiat, y seront traités.

6.1 Les fonctions d'usinage

On considère par fonctions d'usinage tout ce qui concerne les opérations d'usinage proprement dites: la préparation de la machine-outil incluant des tests de fabrication si demandés, la préparation de la commande numérique sans oublier la réalisation du programme d'usinage lorsque celà est nécessaire.

Chaque nouveau besoin d'usinage demande la création d'un programme-machine correspondant. C'est donc préalablement à l'arrivée d'un lot de pièces au poste de tournage que le ou les programmes d'usinage nécessaires à la réalisation du dessin de définition de la pièce à usiner doivent être écrits et sauvegardés sur un support physique

afin que la procédure de recherche et d'appel du programme dans la mémoire de la commande numérique du tour soient la plus simple possible.

6.1.1 La programmation

Afin de réaliser la pièce présentée à la figure 4.1 de la page 52, il fallait écrire, d'après les instructions de programmation du contrôleur ANCA[1], non pas un mais deux programmes d'usinage. Chaque programme, correspondant à une phase d'opérations, est présenté à l'annexe E.

6.1.2 La sauvegarde des programmes

Une fois ces programmes écrits, ils doivent être retranscrits sur un support informatique pour les besoins immédiats d'opération du poste et aussi afin de les sauvegarder de façon plus permanente pour usages futurs.

Dans le premier cas, ce support informatique est la mémoire RAM d'usager du tour lui-même accessible par le mode "EDITor" du CNC dont la capacité normale est approximativement 24000 caractères ou bytes.

---

(1) Manuel de référence Hercus, page 301.

La procédure d'enregistrement, directement dans la mémoire du CNC, se fait par l'intermédiaire du clavier de la machine en suivant les instructions d'édition[1]. Cette procédure donne également la possibilité de les sauvegarder dans la mémoire RAM, tant que la capacité de ce dernier le permet.

Dans le cas d'une sauvegarde permanente, il est possible d'utiliser l'enregistrement sur cassettes lorsqu' un enregistreur de cassettes est disponible et couplé au tour Hercus par le port RS 232.

Evidemment cette option est incompatible avec l'installation d'une liaison avec un micro-ordinateur puisqu'un seul port de communication avec l'extérieur est disponible sur ce modèle.

Il faut donc se donner la possibilité de stocker tous les programmes d'usinage sur disquettes. Un logiciel assez simple, conçu par la firme F.W. Hercus PTY. Ltd., et qui porte le nom de "CNC LATHE", disponible au département de génie industriel, permet de réaliser le stockage sur disquette après que celui-ci eut été écrit sous l'éditeur de DOS.

---

(1) Manuel de référence Hercus, p.231 et suivantes.

Les deux programmes d'usinage présentés à l'annexe E, ont été écrits et sauvegardés sur la disquette ci-jointe, sous les noms de "ARBRE1" et "ARBRE2".

Le logiciel d'Hercus, doit également permettre d'effectuer le transfert de programmes ou de tout autre fichier relatif au traitement des opérations d'usinage proprement dites, du micro vers le tour et du tour vers le micro.

Celà nous amène donc à parler des liaisons du tour avec l'extérieur: liaisons nécessaires à la réalisation de ses fonctions externes.

6.2 Les fonctions de liaisons avec l'extérieur

A ce stade-ci, les informations en provenance du tour qui doivent être traitées par le système de gestion et de contrôle (s.g.c.) du poste de tournage, sont connues. Ce sont: l'état du mandrin, fermé ou ouvert, à des moments bien précis dans le déroulement des opérations de chargement et de déchargement et la fin d'un cycle d'usinage.

De même, les informations que doit transmettre le

s.g.c. au tour sont aussi connues. Ce sont: la commande de fermeture ou d'ouverture du mandrin et la commande d'un début de cycle d'usinage. De façon plus concrète, celà se traduit par l'envoi de messages disant "qu'il est temps d'ouvrir ou de fermer le mandrin" selon le cas et "que doit commencer l'exécution d'un programme d'usinage". Ces informations doivent suivre le chemin des communications RS232.

Alors que les possibilités de communication entre le contrôleur du tour et le micro-ordinateur par des procédures manuelles d'opération sont connues; les possibilités d'un acheminement d'informations entièrement automatisé devra être évaluées dans une étape ultérieure.

Il est essentiel de connaître la possibilité qu'aurait le PLC(1) de transmettre spontanément les messages de fin de programme et de l'état du mandrin. Des tests sur la possibilité d'activation et d'exécution de programmes à partir du micro-ordinateur doivent aussi être faits. La commande d'ouverture et de fermeture du mandrin à partir du micro-ordinateur pourrait dans ce cas être réalisé par le lancement d'un programme spécifique

---

(1) PLC: Programmable Logical Control; logiciel interne de contrôle du CNC qui gère les entrées/sorties du tour)

constitué des deux commandes-machine suivantes:
N001M11 (ouverture ou fermeture du mandrin) suivie de N002M2 (fin de programme)

Un logiciel de communication devra également être prévu, afin de réaliser le transfert des messages entre les systèmes de façon à suivre le protocole de communication prescrit par les spécifications DNC et le guide de conception d'un système de contrôle par micro-ordinateur(1).

(1) Manuel de référence Hercus

CHAPITRE VII

IMPLANTATION DU SYSTEME ROBOTIQUE

7.1 Les fonctions robotiques

Les fonctions robotiques se divisent en deux groupes distincts: les opérations de manipulations et les opérations de liaisons. Les opérations de manipulations sont partagées en plusieurs phases distinctes, reconnaissables par des arrêts physiques du robot en cours d'opération[1]. Ce sont:

1° le chargement de pièces,

2° le retrait temporaire,

3° la saisie de pièces dans le mandrin,

4° le retournement et

5° le déchargement.

Les opérations de liaisons, au nombre de trois, qui doivent être réalisées entre le système de commande du robot et le système de gestion et de contrôle du poste, sont les suivantes:

(1) Les phases 2 et 3 sont exécutées à deux reprises au cours d'un même cycle de manipulation lorsqu'il y a un retournement de pièces à faire. Un cycle robotique complet commençe en attente à la position R au début de la phase de chargement pour se terminer en arrêt à la même position après la phase de déchargement.

1° Le transfert et/ou la réception du ou des programmes d'exécution,

2° le lancement du ou des programmes d'exécution, suivant les ordres reçus du système de gestion et contrôle et

3° la reconnaissance de la fin de programme et son compte rendu au système de gestion et contrôle.

Voici de quelles manières tant informatiques que physiques, il est possible de réaliser ces deux groupes de fonctions.

Il faut d'abord prendre état des contraintes inhérentes au contrôleur du robot ASEA dont il est question. En effet, il a été démontré par une étude antérieure(1) qu'**une liaison directe micro-robot est irréalisable** sur la version actuelle du contrôleur du robot IRb-6. En d'autres termes, ce contrôleur ne peut ni recevoir un programme d'exécution directement d'un micro-ordinateur, ni transmettre un programme directement à un micro-ordinateur.

Ce qui signifie que **la première fonction de liaison ne peut pas être réalisée automatiquement.**

---

(1) Réf. IREQ

La seule alternative possible au transfert, à la réception comme au stockage des programmes d'exécution robotiques, est de faire usage du lecteur de cassettes[1] comme outil de transfert car il est clair qu'aucun programme robotique ne peut résider en permanence dans la mémoire du contrôleur qui de plus, limite la mémorisation simultanée à quatre(4) programmes d'exécution. L'activation (ou sélection) de ces programmes comme le premier lancement du premier d'entre eux, doivent être faits de façon manuelle. Les procédures relatives à ces fonctions sont décrites dans le manuel de référence ASEA.

Mais une fois que le ou les programmes résident dans la mémoire du contrôleur et qu'ils ont été sélectionnés dans l'ordre d'exécution, il n'est pas impossible de contrôler certaines conditions d'opération de façon automatique. En effet, un ordre envoyé au micro-ordinateur ou reçu de celui-ci, sous forme d'un signal électrique empruntant le chemin de l'interface à relais cité au chapitre 5, permettra de réaliser adéquatement ces conditions.

---

(1) Ce lecteur est un équipement auxilliaire relié à l'armoire de commande du robot et actuellement disponible au laboratoire de robotique.

7.2 La programmation

Les opérations de manipulation qu'effectuent le robot doivent donc être programmées. Les possibilités offertes par le contrôleur du robot permettent de réaliser un ou plusieurs programmes d'exécution dont les phases d'opérations seront programmées séquentiellement. Les arrêts et reprises du robot seront réaliser physiquement par l'envoi ou la réception de signaux d'entrées/sorties du contrôleur du robot, conjointement avec l'utilisation des instructions "ARRET CONDITIONNEL", "SORTIE" ET "ENTREE".

Ces signaux vont aussi, d'une façon plus générale, permettre l'activation des phases d'opération, l'identification de la fin d'une phase ou de la fin d'un programme et le renvoi de ces informations au s.g.c.

Etant donné que le type de programmation que requiert le robot IRb-6 est une programmation par apprentissage, la démarche de programmation va s'effectuer en deux étapes:

1° la construction logique et

2° l'enregistrement.

1° La construction logique

La première étape consiste donc à décrire les différentes phases d'opération d'une manière séquentielle et logique.

Ainsi, afin d'optimiser le plus possible l'exploitation du système robotique, les cinq phases citées plus haut, sont regroupées sous 3 fonctions majeures: 1° le chargement, 2° le déchargement et 3° le retournement. Et ces trois fonctions vont engendrer la création de trois(3) programmes d'exécution.

2° L'enregistrement

La seconde étape consiste à faire l'enregistrement des programmes par des actions directes de positionnement du robot en commande manuelle et de sélection des touches d'instructions sur le pupitre de programmation en suivant la procédure décrite au manuel ASEA.

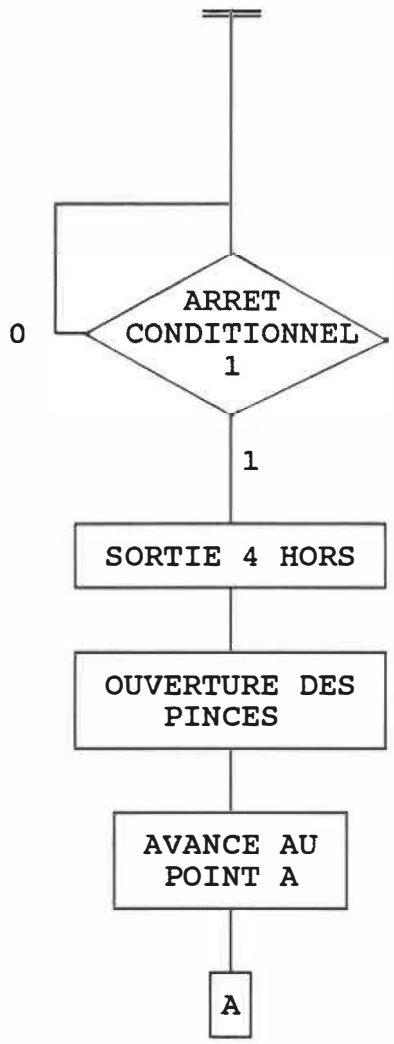
Pour la sauvegarde permanente des programmes sur cassette, suite à leur enregistrement initial, on doit suivre la procédure décrite par le manuel de référence ASEA tout en prenant soin de conserver la même numérotation pour

l'identification des programmes de chargement, de déchargement et de retournement respectivement.

Voici donc la description logique commentée des trois programmes soutenant les opérations robotiques. La condition de leur mise en marche est à l'effet que le robot a été préalablement activé et amené à la position de départ de cycle, au point R et que la sélection des programmes ait été enclenchée, en suivant les procédures d'opérations appropriées.

7.2.1 Le programme de chargement

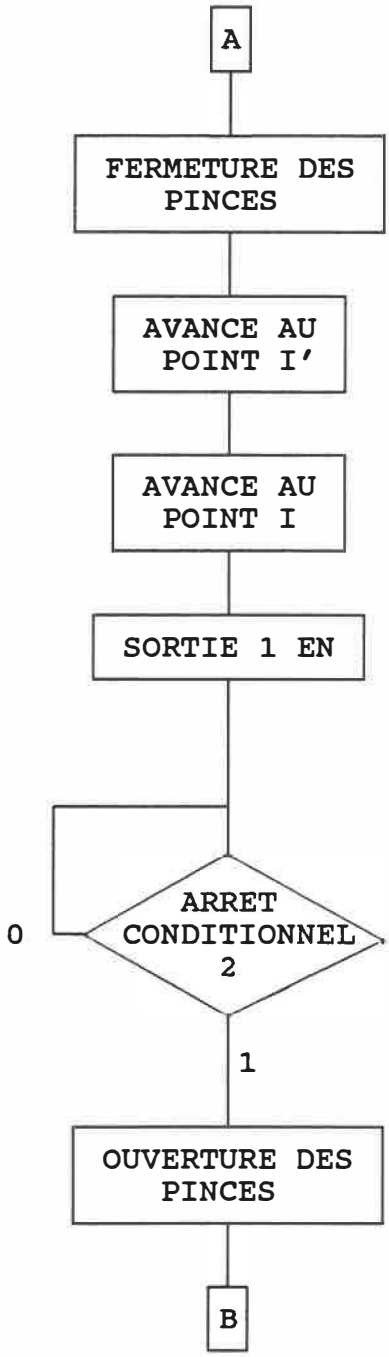
Le premier programme est celui du chargement. Il exécute les fonctions de chargement et de retrait temporaire soient les phases 1 et 2.



- DEBUT: activation du **PROGRAMME No.1** (par AVANCE PROGRAMME en manuelle)
- **PHASE DE CHARGEMENT:**
- Attend la fermeture de l'entrée 1 correspondant à l'ordre de chargement d'une pièce sur le tour
- Désactive la sortie 4
- Les pinces doivent être ouvertes pour la prise de pièce
- Déplacements rectilignes RA' et A'A(1) jusqu'au poste d'arrivée (2 vitesses)

---

(1) Le point A' est un point intermédiaire situé à la verticale du point A, utilisé pour le changement de vitesse à l'approche du point A, point de contact de l'effecteur avec la pièce au poste d'arrivée.



. Prise de pièce sur palette

. Transport de pièce jusqu'à hauteur de la broche: déplacement AA' + A'I'(1)

. Insertion dans le mandrin: déplacement rectiligne I'I

. Envoie un signal sur la sortie #1 correspondant à l'état de la pièce chargée

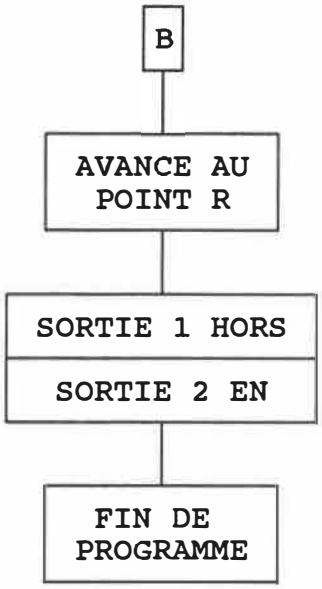
. **PHASE DE RETRAIT TEMPORAIRE:**

. Attend la fermeture de l'entrée #2 correspondant à l'ordre de retrait temporaire suite à la fermeture du mandrin

. Relâche de la pièce qui est fixée sur le tour

---

(1) Le point I' est un point intermédiaire utilisé pour le changement de vitesse et d'orientation à l'approche du point I. Il est située à l'horizontale du point I, point extrême atteint par l'effecteur du robot pour réaliser l'insertion de la pièce dans le mandrin.



. Recul au point d'attente: déplacement rectiligne IR

. Désactive la sortie #1 et active la sortie #2 correspondant à l'atteinte de la position d'arrêt précédant l'usinage

7.2.2 Le programme de déchargement

Le second programme est celui du déchargement. Il exécute les fonctions de saisie de pièces sur le tour et le déchargement proprement dit soient les phases 3 et 5.

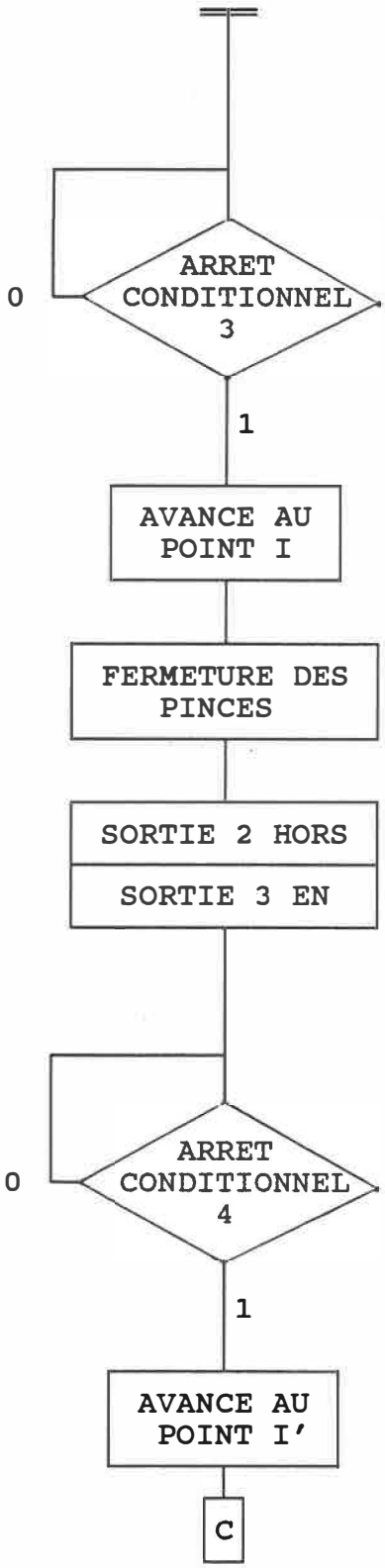
Il s'exécutera de façon automatique si la procédure de mise en marche du robot a tenu compte de la séquence suivante dans la sélection des programmes:

1o programme de chargement (programme #1)

2o programme de retournement (programme #3)

3o programme de déchargement (programme #2)

4o programme de chargement (programme #1)



. DEBUT automatique du **PROGRAMME No.2**

. **PHASE DE SAISIE DE LA PIECE**
. **SUR LE TOUR:**

. Attend la fermeture de l'entrée #3 correspondant à l'ordre de saisie suite à la fin de l'usinage

. Avance jusqu'à hauteur de la broche: déplacement rectiligne RI

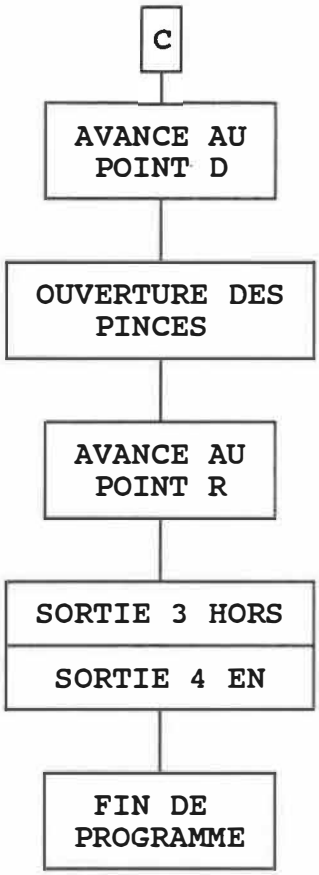
. Prise de la pièce usinée sur le tour

. Désactive la sortie #2 et active la sortie #3 correspondant à la saisie réalisée avant l'ouverture du mandrin

. **PHASE DE DECHARGEMENT:**

. Attend la fermeture de l'entrée #4 correspondant à l'ouverture du mandrin

. Retrait de la pièce du mandrin: déplacement latéral II' dans l'axe des z



. Transport de la pièce usinée au poste de sortie: déplacement I'D' et D'D[1]

. Relâche de la pièce sur la palette de sortie

. Retour à vide jusqu'à la position d'attente: déplacement DR

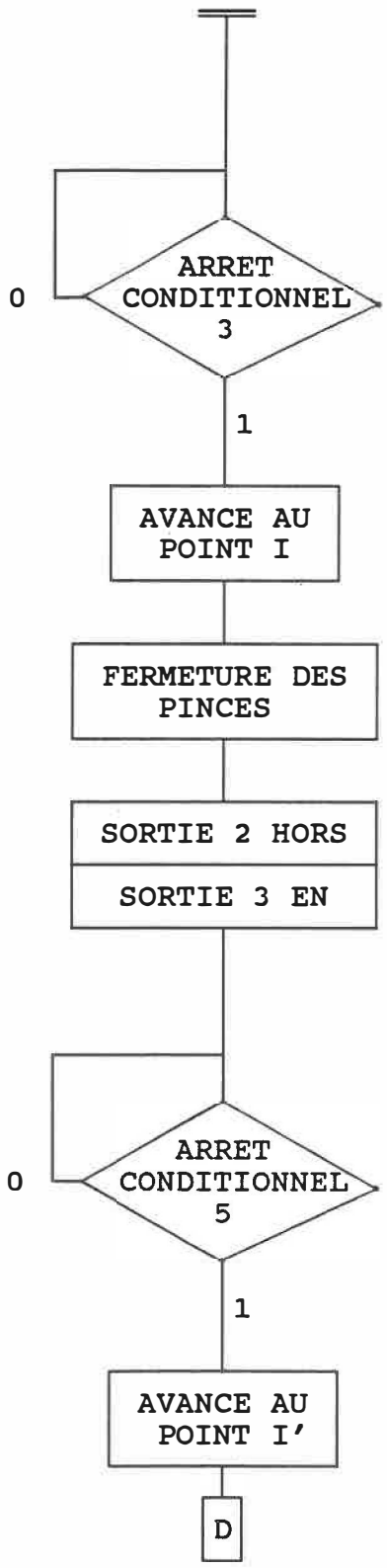
. Désactive la sortie #3 et active la sortie #4 correspondant à la fin de la phase de déchargement

7.2.3 Le programme de retournement

Ce troisième et dernier programme d'exécution, en mode normal, est celui du retournement. Il exécute les fonctions de saisie de pièce sur le tour, de retournement de celle-ci sur 180° avec réinsertion dans le mandrin et de retrait temporaire précédant l'exécution de la 2è phase d'usinage, soient les phases 2, 3 et 4.

---

(1) Le point D' est l'équivalent, au poste de départ, du point A' au poste d'arrivée.



. DEBUT automatique du **PROGRAMME No.3**

. **PHASE DE SAISIE DE PIECE**
. **SUR LE TOUR:**

. Attend la fermeture de l'entrée #3 correspondant à l'ordre de saisie suite à la fin de la première phase d'usinage

. Avance jusqu'à hauteur de la broche: déplacement rectiligne RI

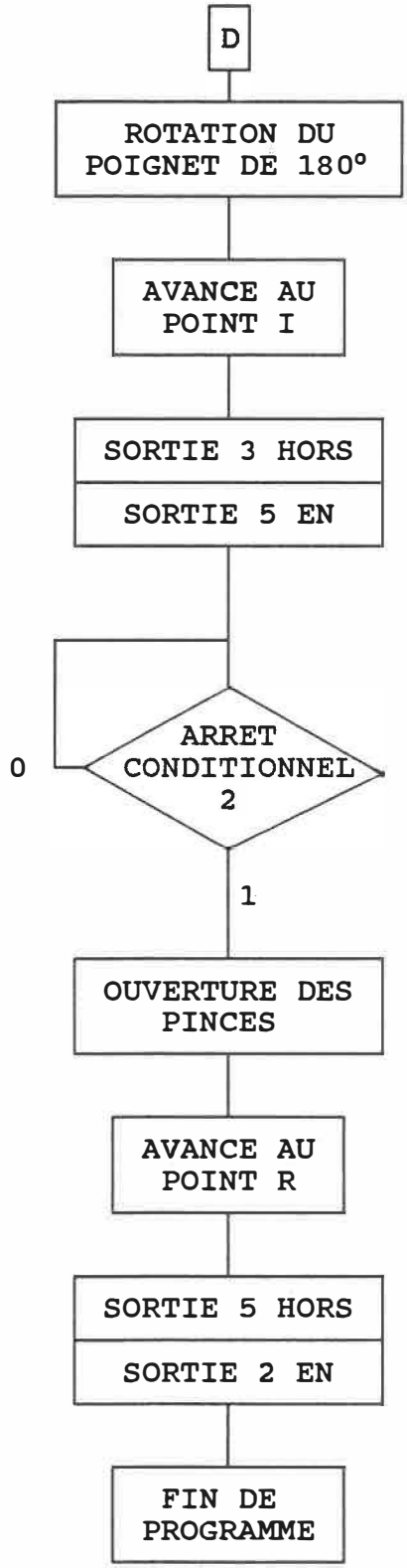
. Prise de la pièce usinée sur le tour

. Désactive la sortie #2 et active la sortie #3 correspondant à la saisie réalisée avant l'ouverture du mandrin

. **PHASE DE RETOURNEMENT:**

. Attend la fermeture de l'entrée #5 correspondant à l'ordre de retournement

. Dégagement de la pièce du mandrin: déplacement latéral II' dans l'axe z



. Retournement de la pièce

. Réinsertion: déplacement I'I

. Désactive la sortie #3 et active la sortie #5 correspondant au retournement effectué

. **PHASE DE RETRAIT TEMPORAIRE:**

. Attend la fermeture de l'entrée #2 corrrespondant à l'ordre de retrait temporaire suite à la fermeture du mandrin sur la pièce

. Relâche de la pièce par le robot

. Recul au point d'attente: déplacement rectiligne IR

. Désactive la sortie #5 et active la sortie #2 correspondant à l'atteinte de la position R précédent la deuxième phase d'usinage

CHAPITRE VIII

INTEGRATION DU SYSTEME DE GESTION ET CONTROLE

Le système de gestion et contrôle du poste de tournage, comme son nom l'indique, doit veiller à la coordination des différents éléments fonctionnels du poste. C'est de lui qu'originent les ordres relatifs à l'exécution des activités de chacun, c'est à lui que les comptes rendus seront acheminés. Sa tâche se situe donc au niveau du franchissement des étapes fonctionnelles, décrites précédemment par le grafcet.

Identifié physiquement au micro-ordinateur, le système de gestion sera constitué, au niveau opérationnel, d'un logiciel informatique qui assurera le déroulement contrôlé des activités du poste.

Voici quelques recommandations sur différentes caractéristiques de son fonctionnement, permettant une meilleur intégration à l'ensemble du système lors de sa phase de réalisation.

Ainsi, les différentes opérations prises en charge par le s.g.c., pourront être définies comme suit:

1° **faire les tests de ligne avec le robot et le tour;**

ceci peut se réaliser par l'adjonction d'un sous-programme de communication capable de communiquer adéquatement avec le tour comme avec le robot. Essentiellement, ce programme devra être capable de transmettre, recevoir et interpréter les signaux de communication de chacun des équipements en jeu.

2° **mettre en mémoire active les programmes d'opérations de chacun;**

cette seconde étape consistera à transmettre et activer le ou les programmes d'usinage, résidents sur disquettes, vers le contrôleur du tour.

3° **gérer les procédures de dialogue avec un opérateur humain afin de vérifier certains états du système;**

l'établissement des procédures de dialogue avec l'opérateur est une étape tout particulièrement importante dans le cas où un certain nombre de fonctions sont encore exécutées manuellement. La vérification de l'état initial du système est cruciale. Ainsi, les éléments suivants devront être reconnus par le système, avant même la mise en marche de toute autre procédure automatisée.

Ce sont:

a) s'il y a une pièce au poste d'arrivée,

b) si le mandrin est libre de pièce et ouvert, la broche du tour arrêtée

c) si le poste de sortie pour la dépose de pièces est également libre et

d) si le robot est en position reculée, sa pince vide.

Dans le cas contraire, les actions relatives à la validation de ces affirmations devront être posées. Seulement alors pourront commencer les étapes de production automatisée.

4° **gérer et contrôler les procédures de fonctionnement et d'arrêt du système automatisé proprement dit;**

la gestion des fonctions automatisées peut aller de de très simple à très complexe. Dans les procédures d'arrêt par exemple, on peut citer:

- l'arrêt demandé en fin de cycle, pour l'évacuation manuelle de copeaux par exemple,
- l'arrêt demandé dans un état déterminé, pour la prise de cote par exemple et
- l'arrêt d'urgence, tous les équipements arrêtant à leur position du moment.

5° **gérer des procédures de défaillance;**

le système pourrait également, à partir de diagnostics connus, réaliser des traitements de défaillance par des procédures établies. Par exemple:

a) si le robot rate la prise de pièce sur la palette d'arrivée, il pourrait commander le retour du robot à sa position immédiatement précédente soit au point R, avertir l'opérateur de replacer manuellement la pièce et la palette déplacée par le faux mouvement du robot et réactiver le programme de chargement du robot;

b) de même, si le robot échappait la pièce pendant son déplacement, si l'insertion de la pièce ne s'était pas faite correctement, si le robot ratait sa dépose au poste de sortie ou à cause d'un bri de la pièce ou de l'outil de coupe lors du cycle d'usinage, le système de gestion veillerait alors à apporter les correctifs nécessaires.

6° **gérer des procédures particulières de fonctionnement;**

que ce soit une marche de vérification dans l'ordre ou le désordre, une marche de préparation ou de clôture, accompagnant la procédure de fonctionnment

normale décrite précédemment, le système en ferait également la gérance.

8.1 La gestion du robot ASEA

Comme le robot ASEA est limitées à un maximum de 4 programmmes résidents en mémoire, il ne pourrait être opérer par une gestion trop complexe. Cependant, le système de gestion serait tout à fait apte à gérer le poste de tournage, par le contrôle de la procédure de fonctionnment en production normale, caractérisé par l'alternance de signaux de transmission et de réception.

Prenant pour exemple la fonction de chargement d'une pièce sur le tour, les actions du système de contrôle consisteraient alors essentiellement à:

- envoyer un signal à l'entrée #1 du robot, permettant la lancée du premier programme robotique, préalablement activé par une procédure manuelle;
- attendre la réception d'un signal en provenance de la sortie #1 du robot, lui notifiant que la pièce a été insérée dans le mandrin;
- activer le programme du tour correspondant à la fermeture du mandrin;
- attendre la réception d'un signal en provenance du tour

lui notifiant que le programme est terminé;

- envoyer un signal à l'entrée #2 du robot, permettant la continuation du programme de chargement;
- attendre la réception d'un signal en provenance de la sortie #2 du robot lui signifiant la fin de la phase de chargement.

CHAPITRE IX

INSTALLATION DU SYSTEME

Le robot tout comme le tour doivent être installés en des positions relatives rigoureusement fixes afin de sauvegarder les coordonnées des points programmés. Cependant, le robot constitue l'élément principal lors de l'implantation physique du poste car son installation est plus délicate à réaliser.

Les caractéristiques physiques du robot sont critiques et déterminantes à la phase d'installation car elles vont servir à fixer les limites de son enveloppe de travail, appelée aussi "domaine atteignable".

9.1 Implantation physique des différents éléments du poste de tournage

L'implantation du poste de tournage commence donc par celui du robot. L'installation du tour comme ceux des postes de transfert de pièces seront subséquentes. De même, la localisation du micro-ordinateur est conditionnée par celle du robot à cause de l'interface qui les relie.

9.1.1 La zone de travail du robot

Les données techniques du robot, présentées à l'annexe C, identifient la position de ses axes. L'axe de l'épaule est à 700 mm de la base, l'axe du coude est distant de 450 mm du précédent tandis que l'axe du poignet est à 670 mm de l'axe du coude. De plus, les mouvements des trois segments de ce robot permettent une rotation de 340°, un déplacement radial de ±40° et un déplacement vertical allant de +25° à -40°.

A celà vient s'ajouter la longueur de la pince dont l'extrémité se situe à 240 mm de l'axe du poignet ainsi que la hauteur ajustée du support de base sur lequel le robot est monté(1) et qui rehausse celui-ci de 160 mm du sol.

Ces informations sont suffisantes pour établir le domaine atteignable du robot IRb-6 étudié ici. La zone circonscrite par les pointillés à la figure 9.1 représente le lieu des points extrêmes atteignables par l'extrémité de la pince du robot dans le plan xy lorsqu'un ou plusieurs de ses segments sont dans des positions limites; la zone intérieure représentant le domaine atteignable par l'axe du poignet.

---

(1) La description de la pince et du support de base est présentée à l'annexe C.

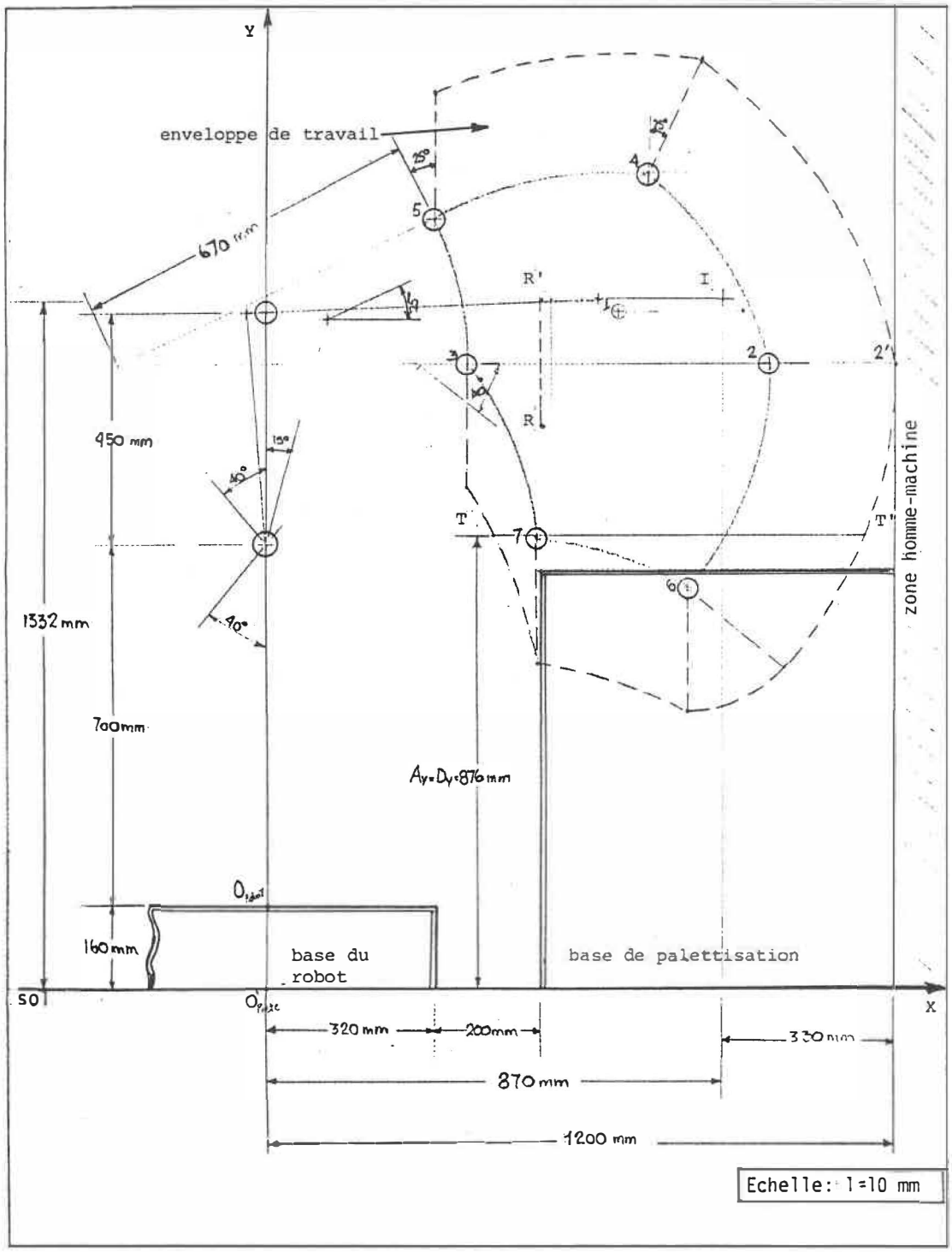


Figure 9.1 Implantation physique du poste de tournage: intégration du robot (vue latérale)

La portée horizontale maximale du robot, identifiée par le point 2' sur la figure 9.1, est à 1200 mm de l'origine. Obtenue par l'extension maximale positive du second segment du robot et par l'extension horizontale du troisième segment, du poignet et de la pince, cette valeur est déterminante pour le positionnement de la machine-outil.

L'installation physique du robot ainsi que sa localisation précise au laboratoire de recherche a déjà été réalisée précédemmant à ce projet. Une relocalisation ne semble pas être nécessaire à ce stade-ci.

9.1.2 Le positionnement du tour

Le positionnement du tour par rapport au robot est d'abord influencé par la contrainte que pose la zone homme-machine, représentée à l'extrême doite sur la figure 9.1.

Sachant que la distance horizontale entre la frontière de cette zone, établie à la limite des contrôles manuelles du tour, et le point d'insertion au centre du mandrin est de 330 mm et que la hauteur de ce point est de

1332 mm[1], on peut alors situer les coordonnées du point I par rapport au référentiel O' du poste, comme étant:

$$\boxed{I_{x,y,z} = 870,1332,0}$$

Suite à ce positionnement du tour, on remarque tout de suite l'espace libre créé entre le support de base du robot et la table du tour. Cet écart, de 200 mm, est dû à l'excédent de portée du robot IRb-6.

9.1.3 Le positionnement du robot en attente.

La localisation du point R , position d'attente du robot, doit se faire en tenant compte des critères suivants:

1° Il doit se situer dans la zone de travail efficace,

2° il ne doit pas être en interférence avec une partie du tour,

3° les déplacements RA, RD et RI doivent être optimisés.

Lors des opérations de manupulation proprement dites, le robot doit nécessairement opérer un recul vers l'arrière après le chargement de la pièce sur le tour.

---

(1) Cette valeur est constitué de la distance verticale entre le point d'insertion et la base du tour (522 mm) ajoutée de la hauteur de la table sur laquelle le robot est monté (810 mm).

Le recul doit être suffisant pour ne pas interférer avec le tour lorsqu'il est en opération et le plus court possible pour minimiser les déplacements RA, RD et RI. En effectuant un recul de l'axe du poignet juste derrière le tour et en opérant la rotation du poignet de 90^0 vers le bas, on obtient une position optimale du point R, autant face aux points de dépose qu'au point d'insertion.

Situé dans le plan xy avec l'axe du poignet (point R') à l'horizontale du point I derrière le tour et la pince orientée vers le sol; le robot en position d'attente aura pour coordonnées du point R, dans le référentiel du poste, les valeurs suivantes:

$$\boxed{R_{x,y,z} = 520,1092,0}$$

9.1.4 <u>Le positionnement des postes de transfert</u>

La figure 9.1 montre le plan horizontal dans lequel les points A et D se situeront. Ce plan, délimité par les points T et T', est situé à 876 mm du sol. Son positionnement est établie à partir d'une base de travail normale, choisi à 810 mm de hauteur, à laquelle l'on ajoute la hauteur de la palette (18 mm) et de la moitié de la longueur de la pièce (48 mm), lieu de prise de la pièce par la pince du robot.

La figure 9.2 montre clairement la "zone de localisation des postes de transfert" dans le plan xz. Afin de minimiser les déplacements RA et RD tout en s'assurant d'un positionnement facile des postes lors de leur mise en place tout comme lors des transferts de pièces avec l'extérieur; les coordonnées des points A et D sont identifiées comme suit:

$A_{x,y,z}$	= 400,876,-550
$D_{x,y,z}$	= 400,876,550

Ainsi se termine l'implantation physique du poste de tournage; le positionnement de l'armoire de commande et du micro-ordinateur se situe vers l'arrière, quelque peu en retrait de la zone de travail du robot, tel que montré à la figure 2.2.

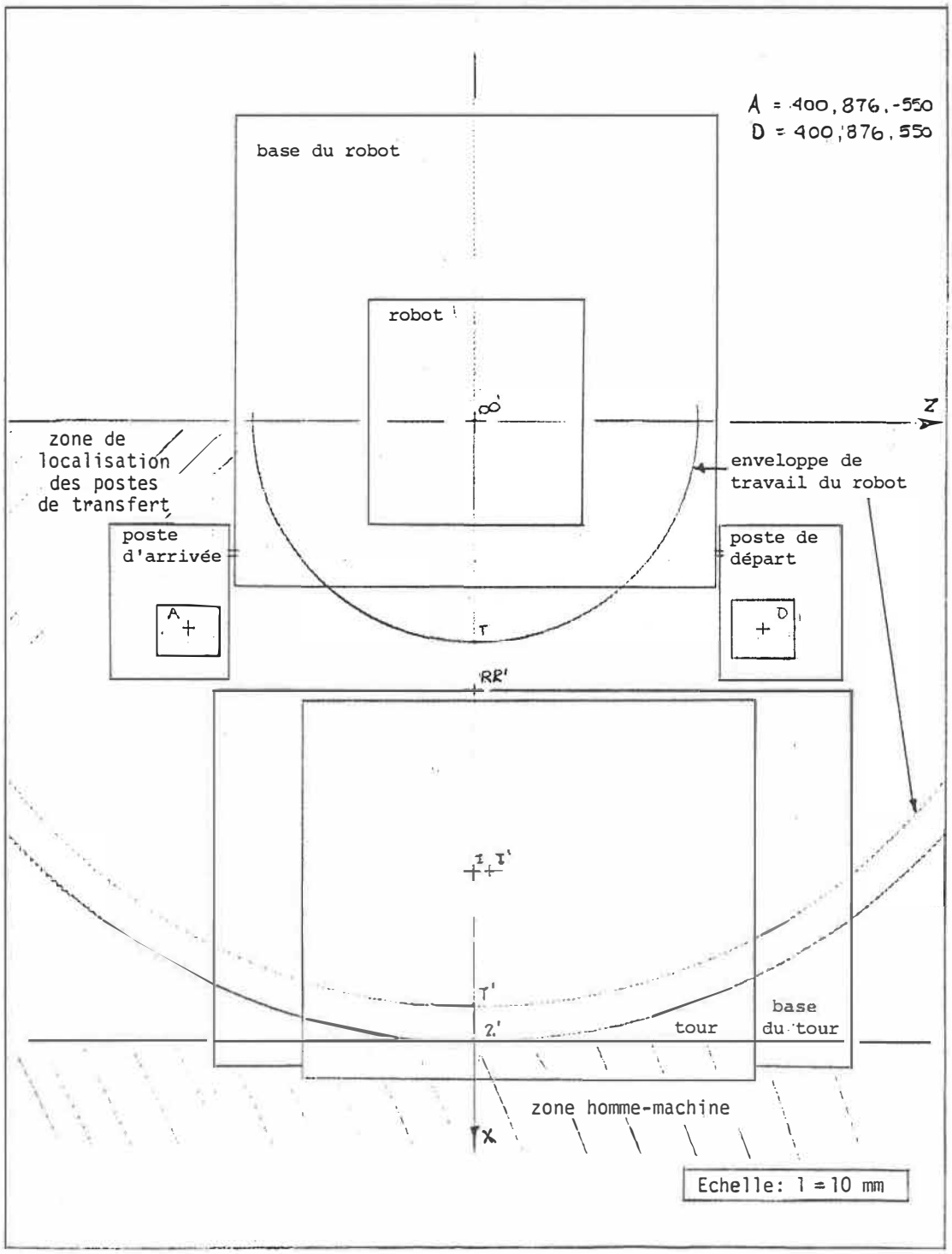


Figure 9.2 Implantation physique du poste: intégration du tour et des postes de transfert (vue de plan)

CONCLUSION

L'étude de conception d'un système de chargement et de déchargement robotique à un poste de tournage à commande numérique se termine ici.

Cette étude a comporté les étapes suivantes:

- la description et l'analyse des besoins du poste à robotiser,
- la sélection du robot d'alimentation,
- l'analyse fonctionnelle des différents éléments du poste et leurs caractéristiques d'intégration et
- les modalités d'installation de chacun dans un système intégré.

De cette étude ressort toute l'importance accordée à la sélection du robot d'alimentation dans le contexte d'un projet plus global de poste d'usinage automatisé. Le choix du robot doit correspondre le plus exactement possible aux besoins du poste à robotiser: le développement et la réalisation des étapes ultérieures du projet en dépendent.

L'analyse fonctionnelle des équipements étudiés a révélée les limitations du robot ASEA et de son armoire de

commande surtout à cause de ses faiblesses de communication avec les autres éléments du poste, que ce soit avec le tour à commande numérique Hercus ou avec le système de contrôle sur micro-ordinateur. Il sera toutefois possible de réaliser, par la liaison physique indirecte qu'est l'interface à relais, les liens informationnels entre le système robotique actuel ASEA et le système de gestion et de contrôle. Cette solution pèche cependant par un manque de flexibilité et de fiabilité.

Après l'analyse des capacités de manipulation de pièces par le robot ASEA, il ressort que la prise de pièce sur palette montrerait une plus grande flexibilité en la présence d'un sixième axe de liberté et que l'insertion d'une pièce dans le mandrin requiert une grande précision du robot et une souplesse de poignet que des tests ultérieurs viendraient valider.

Donc, au niveau de l'intégration d'un système robotique à poste de tournage, les recommandations sont les suivantes:

1° définir clairement les besoins spécifiques du poste,

2° choisir un système dont les caractéristiques techniques, économiques, informatiques et de service répondent le plus adéquatement aux besoins du poste et

3° que l'intégration des différents éléments du poste se fasse par étapes successives suite à une planification précise concernant les caractéristiques opérationnelles de chacune, telle que présentée dans la présente étude.

Des caractéristiques techniques du système robotique étudiée ici, il ressort clairement que les éléments suivants sont déterminants pour la réalisation d'un poste de tournage efficace et de haut rendement:

1° la capacité d'établir des liaisons directes avec le système de gestion,

2° avoir une capacité de programmation la plus étendue et la plus flexible possible et,

3° posséder un outil de préhension dont les caractéristiques assurent la fiabilité et la précision recherchée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

*****, "Compulathe CNC Lathe Manual", F.W. Hercus PTY. Limited, Thebarton, South Australia, 1987.

*****, "Manuel de référence du robot ASEA: Utilisation No.YB 110-301F, Description No.YB 110-302F, Installation No.YB 110-303F.

BLANCHARD, M., "Comprendre, maîtriser et appliquer le GRAFCET", Paris, Cepadeus Editions, 1979.

BOURDET, Pierre, "La productique", Ecole Polytechnique, 1986.

BURTON, I. Zisk, and PALMER, William E., "FMS Robot-to-Material Transporter Interfaces", Robotics Today, Fév. 1984, p.38-41.

CRITCHLOW, Arthur J., "Introduction to Robotics", Macmillan Publishing Company, New York, 1985.

DELISLE, Gilles, J.Fecteau et R.Somenzi, "L'automatisation industrielle: une obligation autant qu'un défi", Ministère de l'Industrie et du Commerce, Direction des Communications, Gouvernement du Québec 1986.

EMERSON, Bob, "Automation Needs Prompt Different Approches For Systems Analysis", Industrial Engineering, Vol.17, No.6

Juin 1985, p.28-32.

ENGELBERGER, Joseph F., "Robotics in Practice", American Management Associations, 1980.

FERRETTI, Marc, "Panorama de 150 manipulateurs et robots industriels", Le Nouvel Automatisme, No.26 Nov.Déc. 1981, p.56-61.

FERRETTI, Marc, "Les robots d'alimentation", Le Nouvel Automatisme, No.53 Avril 1985, p.58-61.

HUANG, Philip Y. and GHANDFOROUSH, P., "Procedures Given For Evaluating, Selecting Robots", Industrial Engineering, Vol.16, No.4 Avril 1984, p.44-48.

HINSON, Ray, "Machine Load, Unload Automation is Robot Challenge", Industrial Engineering, Vol.16, No.2-3 Mars 1984, p.44-48

JUTARD, A. et LIEGEOIS, G., "Application et mise en oeuvre des robots industriels", Ed. Ecole Polytechnique de Montréal, Centre de cours intensifs, Mars 1987.

OTTINGER, Lester V., "Engineering Robot Systems For Existing Facilities", Industrial Engineering, Vol.12, No.2 Fév. 1982, p.20-23.

THOMAS, Rick, "Programming Expands Limits of Robot

Controllers", Industrial Engineering, Vol.13, No.4 Avril 1983, p.34-40.

THOMAS, Rick, "Designing Controls For Robotic Work Cells", Industrial Engineering, Vo. 13, No.5 Mai 1983, p.34-39.

*****, "Automates et C.N.C.: tout un programme!", Machine Moderne, Avril 1985, p.37-42.

*****, "L'alimentation des machines-outils par robots", Machine Moderne, Déc. 1985, p.31-34.

*****, "Robots mean flexible production at ASEA", Industrial Robot, Vol.11, No.4 Déc. 1984, p.227-229.

ANNEXE A

SPECIFICATIONS DU TOUR HERCUS

FICHE TECHNIQUE PARTIELLE[1]:

Dimensions du tour: longueur 865 mm
largeur 735 mm
hauteur 630 mm

Poids: 166 kg

Déplacement transversal max. du chariot (axe des x): 100 mm

Déplacement longitudinal max. du chariot (axe des z): 300mm

Vitesse d'avance: variable de 0 à 4 mètres/min

Puissance du moteur de la broche: 0,55 KW

Vitesses de broche:

vitesses basses: de 0 à 1000 tours/min
vitesses hautes: de 0 à 2500 tours/min

Amenée manuelle de la contre-pointe

Tourelle porte-outils automatique à 8 positions:

longueur du manche d'outils: 10 mm

Mandrin pneumatique à 3 mors: profondeur de 22 mm

Contrôleur à commande numérique (CNC) de marque ANCA

Tableau de contrôles avec clavier et écran vidéo

Port de sortie RS232

+ Table à roulettes bloquantes de 1220 x 730 x 810 mm servant de base portante

---

(1) Voir le manuel de référence Hercus pour des informations supplémentaires.

ANNEXE B

SPECIFICATIONS DES ROBOTS ETUDIES

Manufacturier	Modèle[1] (fixe)	Hauteur (mm)	Poids (kg)	Nombre d'axes	Précision (mm)
AMATROL INC.	Mercury	747,4	40,8	4	-
	Hercules	1206,5	90,7	5	-
	Polaris	914,4	90,99,8	4,6	-
	Centari	939,8	90,99,8	4,6	-
			127,0	7	-
	Jupiter	**-**	**-**	**4**	**-**
	Phoenix	-	-	6	-
AMPTRONICS	BRAT 801	1168,4	181,4	5-6	±0,25
	BRAT 501	457,2	4,1	4	-
COLNE	Armdroid I	711,2	5,9	5	±3,81
ROBOTICS INC.	**Armdroid II**	**800,0**	**32,0**	**6**	**±0,04**
ESHED ROBOTEC LTD.	SCROBOT-ER III	340,0	7,5	5+eff.	±0,76
FEEDBACK INC.	Armdraulic:				
	EHA 1050	711,2	34,0	6	±3,18
	EHA 1052	711,2	40,8	6	±3,18
	Armatrol				
	ESA 1010	203,2	8,6	5	±3,18
	Armover				
	SSA 1040	304,8	3,6	6	±0,76
	Armborg				
	SSA 1062	304,8	3,6	6	±0,76
	Armsort				
	PPR 1030	127,0	6,3	2+eff.	-
MACK CORP.	B.A.S.E.:				
	Series II	-	6,8	3	±0,13
	Series IIWR	-	8,2	6	±0,13
MICROBOT INC.	MiniMover	205,7	3,6	5	-
	TeachMover	205,7	3,6	5	-
MITSUBISHI ELECTRIC SALES AMERICA	Movemaster-1 RM-101	664,0	10,0	5	±0,30
	Movemaster-II RM-501	**695,2**	**27,0**	**5**	**±0,25**
RHINO ROBOTS	XR	762,0	11,3	5+eff.	±1,02
	Charger	1168,4	136,0	6	±0,38
SPECTRON INST	Robot I	101,6	1,4	2	±2,54
	Robot IV	304,8	2,3	4+eff.	±2,54
SYSTEMS CONT.	Smart Arm MA-83	1300,0	22,7	6	0,025
TECHNOVATE INC.	**Model 5440**	**1000,0**	**59,9**	**4**	**-**
	Atlas	**600,0**	**30,0**	**6**	**-**

(1) Référence: "Robotics Today", Fév.'84, p.58 à 61.

Manufacturier	Modèle (fixe)	Répéta-bilité (mm)	Vmax charge=0 (mm/sec)	Micro-proc. intgré	Moteur
AMATROL INC.	Mercury	±0,13	609,6	non	pneum.
	Hercules	±0,13	304,8	non	hydrau.
	Polaris	±0,25	1270,0	non	hydrau.
	Centari	±0,25	1270,0	non	hydrau.
	Jupiter	**±0,10**	**990,6**	**non**	**élec/sv**
	Phoenix	±1,02	609,6	non	pneum.
AMPTRONICS	BRAT 801	±0,25	-	non	élec/ps
	BRAT 501	-	-	non	pneum.
COLNE	Armdroid I	±1,27	25,4	non	élec/ps
ROBOTICS INC.	**Armdroid II**	**±0,025**	**180°/sec**	**oui**	**élec/ps**
ESHED ROBOTEC LTD.	SCROBOT-ER III	±0,50	250,0	oui	élec/sv
FEEDBACK INC.	Armdraulic:				
	EHA 1050	±6,35	114,3	oui	élec/ps
	EHA 1052	±6,35	114,3	oui	élec/ps
	Armatrol ESA 1010	±6,35	127,0	non	élec/ps
	Armover SSA 1040	±0,64	177,8	non	hydrau.
	Armborg SSA 1062	±0,64	177,8	oui	hydrau.
	Armsort PPR 1030	-	-	non	élec/sv
MACK CORP.	B.A.S.E.:				
	Series II	±0,25	1cps/axe	oui	pneum.
	Series IIWR	±0,25	1cps/axe	oui	pneum.
MICROBOT INC.	MiniMover	±0,76	177,8-ch	non	élec/ps
	TeachMover	±0,76	177,8-ch	oui	élec/ps
MITSUBISHI ELECTRIC SALES AMERICA	Movemaster-1 RM-101	±0,48	80,0	oui	élec/ps
	Movemaster-II RM-501	**±0,48**	**400,0**	**oui**	**élec/sv**
RHINO ROBOTS	XR	±1,02	312,4	oui	élec/sv
	Charger	±0,76	500,0	oui	élec/sv
SPECTRON INST	Robot I	±1,27	508,0	non	élec/sv
	Robot IV	±1,27	381,0	non	élec/sv
SYSTEMS CONT.	Smart Arm MA-83	-	45°/sec	oui	élec/sv
TECHNOVATE INC.	**Model 5440**	**±0,05**	**1447,8**	**oui**	**élec/sv**
	Atlas	**-**	**296,0**	**oui**	**élec/ps**

Manufacturier	Modèle (fixe)	Type d'effecteur	Capacité charge + effect. (kg)	Portée maxi. Horiz. (mm)	Portée maxi. Vert. (mm)
AMATROL INC.	Mercury	pneumat	2,27	304,8	152,4
	Hercules	curv-ln	9,07	304,8	304,8
	Polaris	curv.ln	9,07	304,8	90o
	Centari	parall.	9,07/ 4,54/4,54	1016/ 1270	1574,8
	Jupiter	**parall.**	**2,27**	**457,2**	**76,2**
	Phoenix	parall.	2,27	762,0	152,4
AMPTRONICS	BRAT 801	pneumat	2,27	203,2	101,6
	BRAT 501	pneumat	0,91	101,6	76,2
COLNE	Armdroid I	3-doigt	0,28	431,8	482,6
ROBOTICS INC.	**Armdroid II**	**variés**	**2,27**	**700,0**	**800,0**
ESHED ROBOTEC LTD.	SCROBOT-ER III	2-doigt	1,00	600.0	850,0
FEEDBACK INC.	Armdraulic:				
	EHA 1050	parall.	1,36/2,72	104,4	-
	EHA 1052	parall.	1,36/2,72	1168,4	-
	Armatrol ESA 1010	brides	0,45	292,1	-
	Armover SSA 1040	2-doigt	0,45	444,5	-
	Armborg SSA 1062	2-doigt	0,45	444,5	-
	Armsort PPR 1030	parall.	0,23	381,0	-
MACK CORP.	B.A.S.E.:				
	Series II	variés	2,27	-	-
	Series IIWR	variés	2,27	-	-
MICROBOT INC.	MiniMover	mâchoi-	0,45	444,5	647,7
	TeachMover	res //	0,45	444,5	647,7
MITSUBISHI ELECTRIC	Movemaster-1 RM-101	2-doigt	0,50	450,0	450,0
SALES AMERICA	**Movemaster-II RM-501**	**2-doigt**	**1,20**	**445,0**	**445,0**
RHINO ROBOTS	XR	doigt	2,27	571,5	838,2
	Charger	pneumat	22,68	1219,2	1219,2
SPECTRON INST	Robot I	élec-mg	0,01	266,7	-
	Robot IV	2/4-dgt	0,03	177,8	76,2
SYSTEMS CONT.	Smart Arm MA-83	pneumat	10,00	1000,0	-
TECHNOVATE	**Model 5440**	**parall.**	**5,99**	**650,2**	**76,2**
INC.	**Atlas**	**parall.**	**1.00**	**320,0**	**1800,0**

Manufacturier	Modèle (fixe)	Rotation maxi (deg)	Capacité mémoire (K)	Dispositifs stock.	Langage programmation
AMATROL INC.	Mercury	270	aucune	bulle	dia.ec/
	Hercules	270	aucune	bulle	séquent
	Polaris	270	aucune	EPROM	ACL
	Centari	270	aucune	EPROM	ACL
	Jupiter	**200/160**	**aucune**	**EPROM**	**ACL**
	Phoenix	360	aucune	EPROM	ACL
AMPTRONICS	BRAT 801	180	aucune	-	-
	BRAT 501	180	aucune	-	-
COLNE	Armdroid I	360	aucune	casst/	BASIC
ROBOTICS INC.	**Armdroid II**	**360**	**14**	**disqu.**	**BASIC**
ESHED ROBOTEC LTD.	SCROBOTER III	360	4	disqu.	ELITE
FEEDBACK INC.	Armdraulic:				
	EHA 1050	90	-	-	A-BASIC
	EHA 1052	90	1	ROM	ordin.
	Armatrol ESA 1010	170	aucune	-	ordin.
	Armover SSA 1040	180	2	piles	ordin.
	Armborg SSA 1062	180	4	piles	ordin.
	Armsort PPR 1030	360	aucune	-	ordin.
MACK CORP.	B.A.S.E.:				
	Series II	-	48	EPROM/	BASIC/
	Series IIWR	-	48	disqu.	FORTH..
MICROBOT INC.	MiniMover	180	aucune	aucune	A-BASIC
	TeachMover	180	53 pas	mémoir	A-BASIC
MITSUBISHI ELECTRIC	Movemaster-1 RM-101	240-pgt	4/2	disqu.	BASIC/
SALES AMERICA	**Movemaster-II RM-501**	**300-pgt**	**32/8/32**	**EPROM**	**assemb.**
RHINO ROBOTS	XR	270-pgt	1/64	disqu.	BASIC..
	Charger	240-pgt	48	disqu.	BASIC..
SPECTRON INST	Robot I	100	aucune	-	BASIC
	Robot IV	80	aucune	-	BASIC
SYSTEMS CONT.	Smart Arm MA-83	180	64	ROM/cs	BASIC
TECHNOVATE INC.	**Model 5440**	**200**	**5100 byt**	**piles**	**AML/E**
	Atlas	**370**	**-**	**piles**	**-**

Manufacturier: **CRS PLUS INC.**[1]

Modèle: **SRS-M1**

Hauteur à l'épaule: **254,0 mm**

Poids: **43,2 kg**

Nombre d'axes: **5**

Précision: **-**

Répétabilité: **±0,13 mm**

Vitesse maximum avec charge: **1016,0 mm/sec**

Micro-processeur intégré: **non**

Moteurs: **électriques (servo DC) avec encodeurs optiques**

Type d'effecteurs: **variés: servo-pince, pneumatique à 2 doigts, magnétique, à vacuum**

Capacité de charge:

1,00 kg (avec des fonctions utilisées à 100%)

2,00 kg (avec des fonctions utilisées à 80%)

Portée maximum à l'horizontale: **660 mm**

Portée maximum à la verticale: **914,3 mm**

Rotation maximum (de la base): **350°**

Capacité de mémoire: **8K**

Dispositifs de stokage: **-**

Langage de programmation: **RAPL**

---

(1) Référence: Dépliant publicitaire de CRS Plus, Janv. 1987.

ANNEXE C

SPECIFICATIONS DU ROBOT ASEA-IRb6

Données techniques du robot[1]:

Manufacturier: ASEA INC.

Modèle: IRb-6 (fixe)

Hauteur à l'épaule: 700 mm

Poids: 125,0 kg

Nombre d'axes: 5

Précision de répétion au poignet: ±0,2 mm

Vitesses:

mouvement du bras, rotation:	95°/sec
mouvement du bras, radial:	0,75 m/sec
mouvement du bras, vertical:	1,1 m/sec
mouvement du poignet, inclin.:	115°/sec
mouvement du poignet, rotat.:	195°/sec

Moteurs: électriques à courant continu

Capacité de charge, pince comprise: 6 kg

Portée maximale horizontale: 960 mm (à l'axe du poignet)

1200 mm (en bout de pince)

Portée maximale verticale: 1420 mm

Rotation maximum:

mouvement du bras, rotation: 340°
mouvement du bras, radial: ±40°
mouvement du bras, vertical: +25° à -40°
mouvement du poignet, inclin.: ±90°
mouvement du poignet, rotation: ±180°

---

(1) Référence: Manuel ASEA YB 110-302F, p.8 et suivantes

Armoire de commande:

dimensions: 720 x 720 x 1620 mm

nombre de programmes dans la mémoire programmée: 4

capacité de programmation: 250 instructions

Pupitre de programmation:

dimensions: 182 x 314 x 69 mm

méthode de programmation: par apprentissage

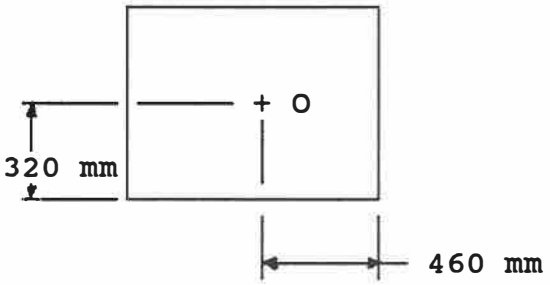
Enregistreur à bande magnétique

Support de base:

dimensions: 915 x 912 x 160 mm

caractéristiques: 4 vis de réglage de hauteur

position du robot sur le support:



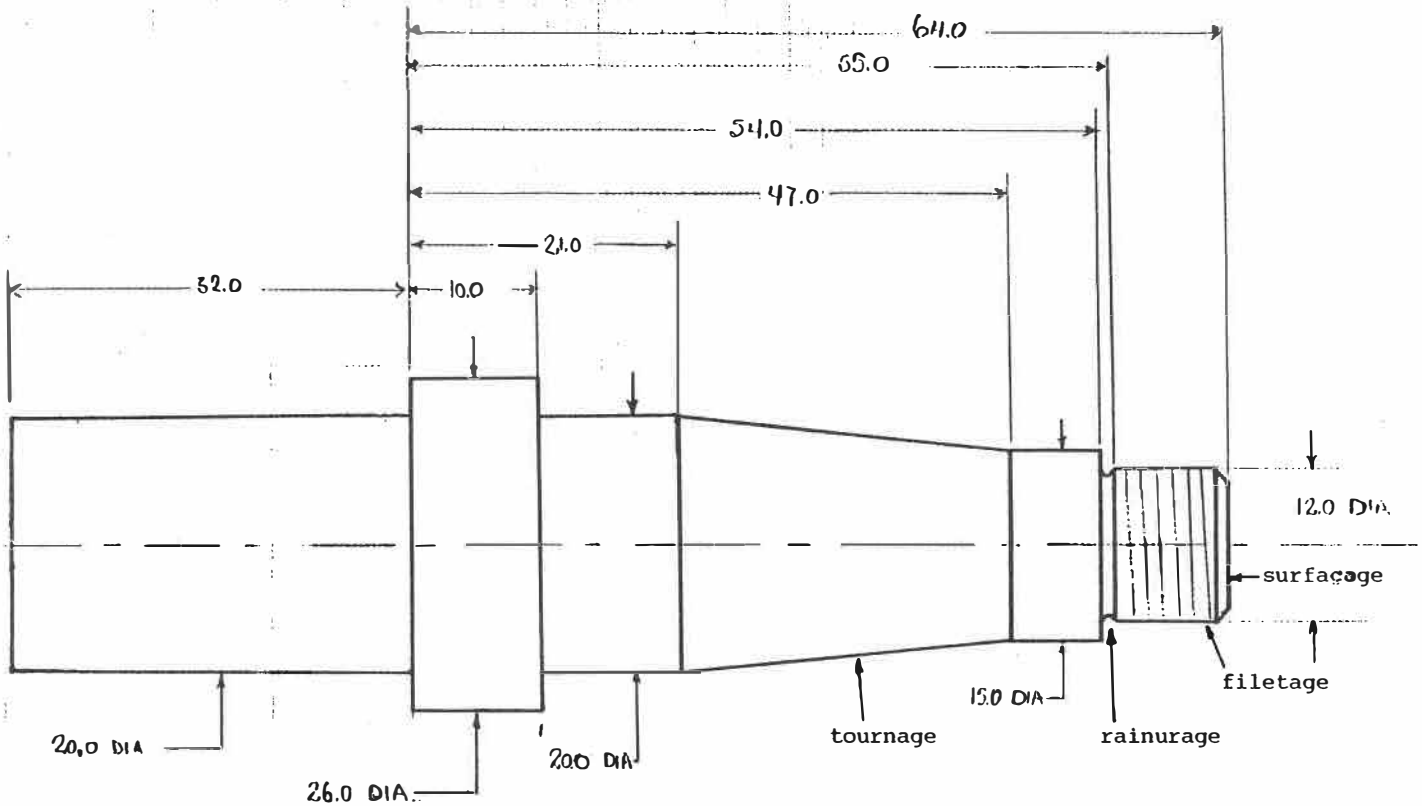
Effecteur:

pince à deux doigts parallèles

longueur de la pince: 145 mm

ANNEXE D

DESSIN DE DEFINITION DE LA PIECE A USINEE



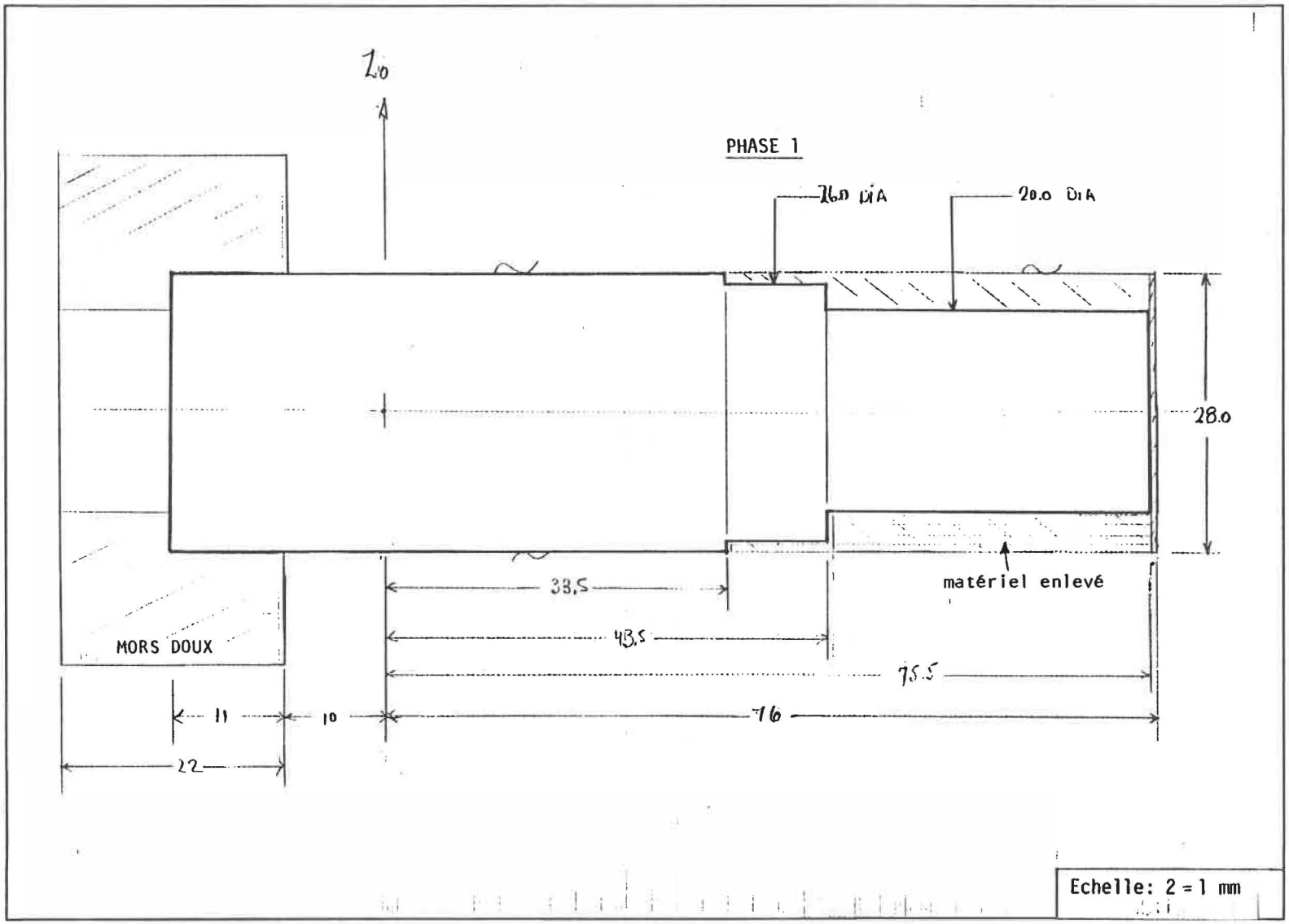
Ecole Polytechnique
Titre: Arbre
Dessiné par: S. Ally-Grenier
Echelle: 2 mm = 1 mm

ANNEXE E

DESCRIPTION DES PHASES ET DES PROGRAMMES D'USINAGE

E-1 **Programme d'usinage - Phase 1**

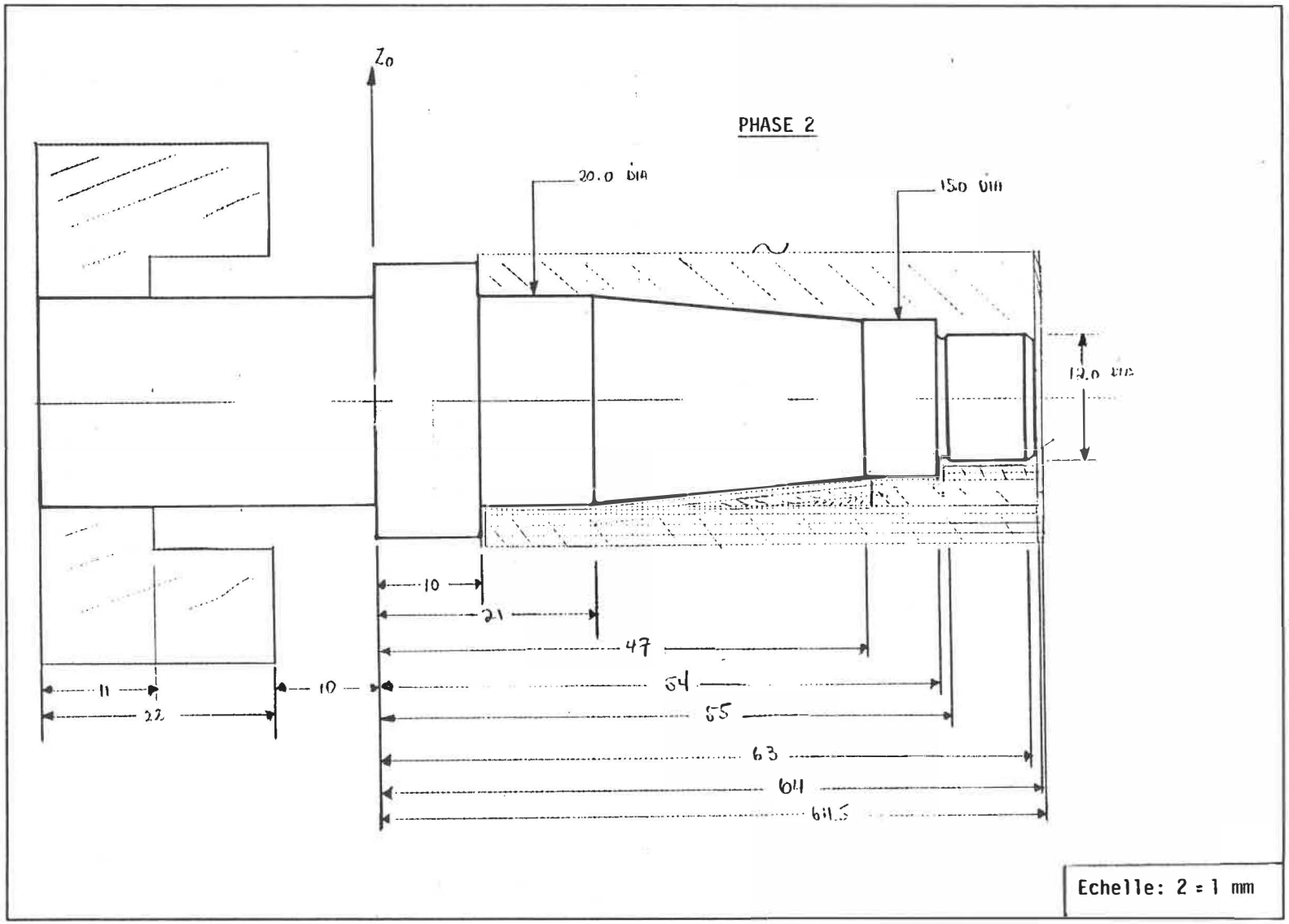
```
(DEBUT DU PROGRAMME ARBRE1
(MATERIEL BRUT: ALUMINIUM 28 MM DIA.
(PRISE 86 MM DU MANDRIN
(FIXATION DES PARAMETRES
N001G71G90G95                - Système métrique
                               Coordonnées absolues
                               Vitesse de l'outil en mm/tr.
N002G50X    Z                - Position zéro pour l'outil 1
N003F.04S2000                - Vitesse d'avance F et de
                               broche S (à 80 mm/min.)
N004T101M6                   - Sélection de l'outil à
                               dresser no.1 et
                               appel de changement d'outil

(SURFACAGE ET DRESSAGE EBAUCHE
N011G0X30.Z75.5M3            - Positionnement de l'outil en
                               rapide et départ de broche
N012G1X-1.                   - Surfaçage
N013G0Z76.                   - Retrait de l'outil
N014X26.5                    - Positionnement pour coupe
                               longitudinale: 1ère passe
N015G1Z34.                   - Dressage
N016X29.                     - Epaulement
N017G0Z76.                   - Retrait de l'outil
N018X24.5
N019G1Z44.                   - 2è passe
N020X27.
N021G0Z76.
N022X22.5
N023G1Z44.                   - 3è passe
N024X25.
N025G0Z76.
N026X20.5
N027G1Z44.                   - 4è passe
N028X23.
N029G0Z76.
N030X20.

(PASSE DE FINITION
N041G1Z43.5F.04S2500         - Réduction de la vitesse
N042X26.
N043Z33.5
N044X29.
N045G0X     Z     T100       - Retour de l'outil à zéro
N046M5                       - Arrêt de la broche
N047M2                       - Fin du programme et retour
                               à la première ligne
```


Zo
PHASE 1
16.0 DIA
20.0 DIA
28.0
matériel enlevé
33.5
43.5
75.5
76
MORS DOUX
11
10
22
Echelle: 2 = 1 mm

E-2 **Programme d'usinage - Phase 2**

```
(DEBUT DE PROGRAMME ARBRE2
(MATERIEL BRUT: ALUMINIUM 28 MM DIA.
(PRISE 74.5 MM DU MANDRIN
(FIXATION DES PARAMETRES
N001G71G90G95                - Système métrique
                               Coordonnées absolues
                               Vitesse de l'outil en mm/tr.
N002G50X     Z               - Position zéro pour l'outil à
                               dresser: outil #1
N003F.04S2000                - Vitesse d'avance F à .04 et
                               V broche S à 80 mm/min.
N004T101M6                   - Sélection de l'outil #1 et
                               appel de changement d'outil

(SURFACAGE ET DRESSAGE EBAUCHE
N011G0X30.Z64.M3             - Positionnement en rapide et
                               départ de broche
N012G1X-1.                   - Surfaçage
N013G0Z64.5                  - Retrait de l'outil
N014X26.                     - Positionnement pour coupe
                               longitudinale
N015G1Z10.5                  - 1ère passe d'ébauche
N016X28.5                    - Epaulement
N017G0Z64.5
N018X24.
N019G1Z10.5                  - 2è passe
N020X26.5
N021G0Z64.5
N022X22.
N023G1Z10.5                  - 3è passe
N024X24.5
N025G0Z64.5
N026X20.5
N027G1Z10.5                  - 4è passe
N028X23.
N029G0Z64.5
N030X18.
N031G1Z47.5F.05              - 5è passe avec augmentation
                               de la vitesse d'avance
N032X20.5
N033G0Z64.5
N034X15.5

N035G1Z47.5                  - 6è passe
N036X18.
N037G0Z64.5
N038X14.
```

```
N039G1Z54.5                    - 7è passe
N040X16.5
N041G0Z64.5
N042X12.5
N043G1Z54.5                    - 8è passe
N044X18.5

(TOURNAGE CONIQUE, CHANFREINAGE ET PASSE DE FINITION
N051G0Z48.5                    - Positionnement en rapide
N052G1X24.Z21.                 - Tournage conique: 1ère passe
N053G0Z48.5
N054X16.5
N055G1X22.Z21.                 - 2è passe
N056G0Z65.
N057X8.                        - Positionnement pour
                                 chanfreinage
N058G1X12.Z63.F.04S2500        - Réduction de vitesse
N059Z54.                       - Passe de finition
N060X15.
N061Z47.
N062X20.Z21.
N063Z10.
N064X27.
N065G0X    Z    T100           - Retour de l'outil #1 au zéro

(RAINURAGE
N071G50X    Z                  - Position zéro de l'outil à
                                 rainurer: outil #3
N072F.04S2000
N073T303M6                     - Sélection de l'outil #3 et
                                 appel du changement d'outil
N074G0X17.Z54.5                - Opération d'usinage
N075G1X11.
N076G0X17.
N077X    Z     T300            - Retour de l'outil #3 au zéro


(FILETAGE
N081G50X    Z                  - Position zéro de l'outil à
                                 fileter: outil #2
N082F.05S2000                  - Augmentation de la vitesse
N083T202M6                     - Sélection de l'outil #2 et
                                 appel du changement d'outil
N084G0X15.Z67.                 - Opération de filetage
N085G28D12.C4H-1.              - Dia.12mm,4 passes,prof.1.0mm
N086G29Z-12.P1.                - 12mm en Z et pas de 1mm
N087G0X    Z                   - Retour de l'outil #2 au zéro
N088M5                         - Arrêt de la broche
N089M2                         - Fin du programme et retour
                                 à la première ligne
```


PHASE 2
Z_0
20.0 DIA
15.0 DIA
12.0 DIA
10
21
47
54
55
63
64
64.5
11
22
10
Echelle: 2 = 1 mm

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
3 9334 00290823 2

C
U
1
A