

---

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Université Hadj-Lakhdar

Faculté des Technologies

Département Génie Industriel



## MÉMOIRE DE MAGISTER

*Présenté au*

**Laboratoire d'Automatique et Productique**

En vue de l'obtention du diplôme de

**MAGISTER**

Spécialité: *Génie Industriel*

Par

**DJOUGGANE Fadhila**

*Ingénieur en Génie Industriel*

**Thème :**

***ETUDE ET CONCEPTION D'UN ROBOT MANIPULATEUR  
POUR L'ENMTP***

Devant le jury composé de :

Dr .M. D. MOUSS	MC	Université de Batna	Président
Dr .H.MELAKHESSOU	MC	Université de Batna	Rapporteur
Dr. H.DJBAILI	Pr	pôle universitaire Khenchela	Examineur
Dr. A.ASSAS	MC	Université de Batna	Examineur

*Année universitaire 2011-2012*

---

# *REMERCIEMENTS*

*En premier lieu, je remercie Dieu, le tout puissant, pour m'avoir donné, la patience, la volonté et la force nécessaires pour achever ce travail.*

*J'adresse mes sincères remerciements et à exprimer toute ma Gratitude à Mme H. Melakssou d'avoir accepté de rapporter ma thèse. Merci pour vos conseils votre disponibilité et soutien dans les moments délicats.*

*Je remercie le président pour avoir accepté de juger ce travail, et les membres du jury qui ont pris de leurs temps pour lire, juger ce travail.*

*Mes vifs remerciements vont également au Dr L.H.Mouss Directrice du LAP, (Laboratoire d'Automatique et Productique) du département de Génie Industriel de l'université de Batna*

*Je tiens à remercier ma petite famille que j'aime énormément et que je remercie chaleureusement du fond du cœur, d'avoir supporté mon absence durant tous ces années de thèse et qui m'a soutenu à chaque moment difficile de ma vie*

*Enfin, je tiens à remercier tous ceux que je n'ai pas cités mais que je n'ai pas oubliés pour autant et qui de près comme de loin m'ont aidé, soutenu et encourager aux moments opportuns. A tous, un grand MERCI!*

# *Dédicaces*

*Je dédier ce travail à la mémoire de mon père et aux fidèles familles voir (figure 0.1)*

*Merci à.....*

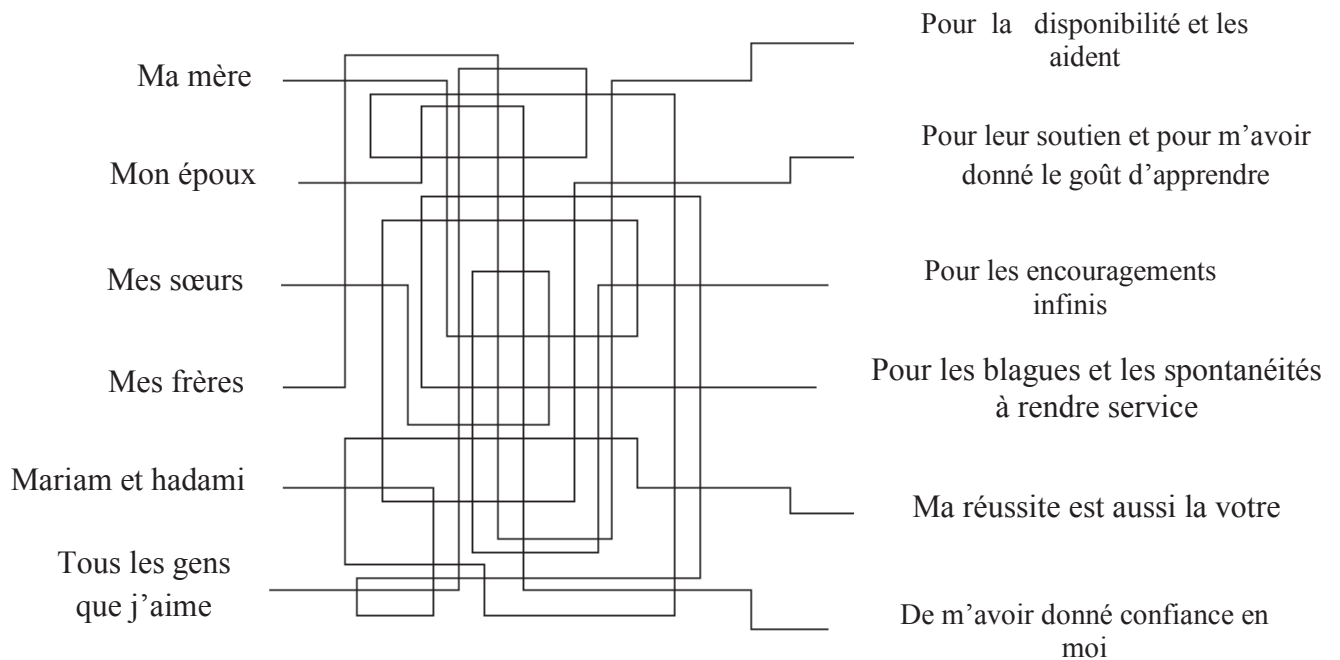


Figure 0.1 - Merci aux fideles famille

*djouggane fadila*

# Sommaire

Table des matières.....	i
Liste des figures.....	iv
Introduction générale.....	1

## CHAPITRE I : Etude bibliographique sur les robots industriels

I.1. Introduction.....	3
I.2. Définition d'un robot.....	5
I.3. Constituants mécaniques du robot.....	6
I.3.1 La Structure Mécanique Articulée.....	7
I.3.2 L'effecteur.....	9
I.4. L'effecteur dans les robots manipulateurs.....	10
I.4.1 Classification des effecteurs.....	10
I.4.1.1 Les outils.....	10
I.4.1.2 Les organes de préhension.....	10
I.5. Les Pinces.....	11
I.5.1 Type de pinces.....	12
I.5.2. Le dimensionnement des pinces.....	14
I.5.3. Mécanismes de préhension.....	16
I.5.4. Actionneurs de l'effecteur.....	21
I.6. Conclusion.....	22

## CHAPITRE II : Modélisation des bras manipulateurs

II.1. Introduction.....	23
II.2. Modèle géométrique direct.....	23
II.2.1. Calcul du MGD.....	24
II.3. Modèle géométrique inverse MGI.....	25
II.3.1. Problèmes du modèle géométrique inverse.....	26
II.4. Modèle cinématique direct.....	27
II.5. Modèle cinématique inverse.....	28
II.6. Modèle dynamique direct.....	28
II.7. Modèle dynamique inverse.....	28

II.7.1. Problèmes du modèle dynamique.....	29
II.8. Statique des robots.....	29
II.8.1. Elaboration du modèle statique .....	30
II.9. Conclusion.....	30

## CHAPITRE III : Application

III.1. Introduction .....	31
III.2. Principe de fonctionnement du four de traitement thermique.....	32
III.3. Les tâches à effectuer par l'opérateur.....	35
III.4. Problématique.....	36
III.5. Analyse fonctionnelle.....	37
III.5.1 Contraintes de fonctionnement .....	37
III.5.2 structure du bras .....	39
III.5.3 Diagrammes fonctionnels .....	40
III.5.4 modèle géométrique direct.....	43
III.5.5 Diagramme des interacteurs (Diagramme pieuvre).....	45
III.6 Analyse fonctionnel interne .....	46
III.6.1. Diagramme FAST partiel du bras manipulateur .....	46
III.7. La Maîtrise d'objets par une pince .....	47
III.7.1. Modèle de contact .....	48
III.7.2. Types de contact.....	48
III.7.3 Torseur de la prise et axe central.....	49
III.8. Stabilité des prises .....	52
III.8.1. Force-closure .....	52
III.8.2 Conditions d'équilibre et de force-closure.....	53
III.9. Application aux pièces de forme cylindrique .....	53
III.9.1 La pince angulaire .....	53
III.10. Explication graphique de force-closure.....	59
III.11. Cas de trois points de contacts .....	60
III.12. Algorithmes de vérification de la fermeture en force .....	62
III.13. Conclusion.....	63
Conclusion générale.....	64
Bibliographie	
Annexes	

# LISTE DES FIGURES

## CHAPITRE I : Etude bibliographique sur les robots industriels

<b>Figure I.1.</b>	Manipulation de pièces à haute température.....	3
<b>Figure I.2.</b>	Manipulation de pièces incandescentes .....	4
<b>Figure I.3.</b>	Le canadarm2 de la station spatiale internationale .....	4
<b>Figure I.4.</b>	Parties commande-contrôle et opérative du robot.....	5
<b>Figure I.5.</b>	Constituants mécaniques du robot.....	6
<b>Figure I.6.</b>	Différents composants du robot.....	6
<b>Figure I.7.</b>	Principales architectures du porteur. ....	7
<b>Figure I.8.</b>	Représentation du volume de travail.....	8
<b>Figure I.9.</b>	La structure mécanique articulée.....	8
<b>Figure I.10.</b>	Types de chaînes.....	9
<b>Figure I.11.</b>	Outil de soudure et préhenseur.....	10
<b>Figure I.12.</b>	Mode de préhension.....	11
<b>Figure I.13.</b>	Nomenclature d'une pince.....	11
<b>Figure I.14.</b>	Type de pinces.....	12
<b>Figure I.15.</b>	Limites d'utilisation des pinces à ouverture angulaire.....	12
<b>Figure I.16.</b>	Exemple : pinces à ouverture angulaire.....	13
<b>Figure I.17.</b>	Serrage intérieur et extérieur.....	14
<b>Figure I.18.</b>	Dégagement complet des doigts de la pince à ouverture totale.....	14
<b>Figure I.19.a.</b>	La préhension par obstacle.....	15
<b>Figure I.19.b.</b>	La préhension par adhérence.....	15
<b>Figure I.20.a.</b>	Préhension par constriction universelle.....	15
<b>Figure I.20.b.</b>	Limite de la constriction .....	15
<b>Figure I.21.</b>	Préhension par constriction dédiée.....	16
<b>Figure I.22.</b>	Prises bilatérales.....	17
<b>Figure I.23.</b>	Système pignon crémaillère.....	17
<b>Figure I.24.</b>	Système vis écrou.....	18
<b>Figure I.25.</b>	Déplacement des deux mâchoires de la pince.....	18
<b>Figure I.26.</b>	Système s'adaptant à la forme de l'objet.....	18
<b>Figure I.27.</b>	Ventouses à vide.....	19

<b>Figure I.28.</b>	Ventouses agnétiques.....	20
<b>Figure I.29.</b>	Mécanismes de transmission .....	21

## CHAPITRE II : Modélisation des bras manipulateurs

<b>Figure II.1.</b>	SMA paramétrée.....	24
<b>Figure II.2.</b>	Description schématique des différents référentiels .....	26
<b>Figure II.3</b>	Exemple d'un Modèle cinématique direct .....	27
<b>Figure II.4</b>	Modèle cinématique inverse .....	28

## CHAPITRE III : Application

<b>Figure III.1.</b>	Produit de l'entreprise.....	31
<b>Figure III.2.</b>	Four à sole tournante pour le traitement thermique.....	32
<b>Figure III.3.</b>	Schéma de la sole tournante .....	33
<b>Figure III.4.</b>	Exemple de pièce nécessite traitement thermique .....	34
<b>Figure III.5.</b>	Séquence des taches effectuées par l'opérateur.....	35
<b>Figure III.6.</b>	Placer et retirer les petites pièces .....	36
<b>Figure III.7.</b>	Placer et retirer les grandes pièces .....	36
<b>Figure III.8.</b>	L'opérateur en face de la flamme .....	36
<b>Figure III.9.a.</b>	Limites d'élasticité pour l'acier .....	37
<b>Figure III.9.b.</b>	Module d'élasticité de l'acier.....	37
<b>Figure III.10.</b>	Schéma de l'espace de travail du bras.. .....	38
<b>Figure III.11.</b>	Espace de travail du robot RPP.....	39
<b>Figure III.12.</b>	Grafcet Charger et décharger la pièce.....	40
<b>Figure III.13.</b>	Schéma cinématique du manipulateur .....	41
<b>Figure III.14.</b>	Le bras manipulateur proposé.....	42
<b>Figure III.15.</b>	Mouvement linéaire de la base .....	42
<b>Figure III.16.</b>	Système de transmission du mouvement linéaire .....	43
<b>Figure III.17.</b>	Système de transmission du mouvement linéaire .....	43
<b>Figure III.18.</b>	Porteur cylindrique avec les repères DH .....	44
<b>Figure III.19.</b>	L'espace de travail .....	44
<b>Figure III.20.</b>	Diagramme des interacteurs.....	45
<b>Figure III.21.</b>	Diagramme FAST partiel du bras manipulateur .....	46

<b>Figure III.22.</b> Informations nécessaire pour déterminer une prise .....	47
<b>Figure III.23.</b> Les trois types de contact .....	48
<b>Figure III.24.</b> Cône de frottement et contact entre l'objet et le doigt.....	49
<b>Figure III.25.</b> (a) Paramètres $\theta_1$ et $\theta_2$ pour une droite $\Delta_g$ du plan.....	51
<b>Figure III.25.</b> (b) Représentation des droites dans le plan $\theta_1, \theta_2$ .....	51
<b>Figure III.26.</b> Types de Prise .....	52
<b>Figure III.27.</b> Différence entre les pinces parallèle et angulaire .....	53
<b>Figure III.28.</b> L'inconvénient des pinces angulaire .....	53
<b>Figure III.29.</b> Maitrise des pièces dans le plan et dans l'espace .....	54
<b>Figure III.30.</b> Configuration pertinente à l'étape de contact .....	55
<b>Figure III.31.</b> Graphe générale de la force proximale en fonction de l'orientation des doigts de la pince .....	55
<b>Figure III.32.</b> Effet du diamètre du cylindre sur la force de serrage .....	56
<b>Figure III.33.</b> Maitrise de pièce en fonction du diamètre .....	57
<b>Figure III.34.</b> Force de la pince sur la pièce.....	58
<b>Figure III.35.</b> Évolution de la force de frottement en fonction de la force $F_e$ agissant sur le système.....	58
<b>Figure III.36.a.</b> Prises planes à 2 points de contact. force-closure.....	59
<b>Figure III.36.b.</b> Prises planes à 2 points de contact non force-closure.....	59
<b>Figure III.37.</b> Représentation de l'espace des torseurs associés aux prises de la (figure III.36) .....	60
<b>Figure III.38.</b> Position des axes centraux dans le plan .....	60
<b>Figure III.39.</b> Prise spatiales à 3contacts : a) force-closure, b) non force-closure...	79
<b>Figure III.40.</b> Représentation de l'espace torseur pour les prises de la (figure III.39).....	61
<b>Figure III.41.</b> Position des axes centraux dans le plan .....	62
<b>Figure III.42.</b> Position des axes centraux dans l'espace.....	62
<b>Figure III.43.</b> Organigramme de l'algorithme de force-closure.....	64



---

---

# **INTRODUCTION GENERALE**

---

---

## INTRODUCTION GENERALE

Le problème de manipulation d'objets est l'un des sujets de recherche qui passionnent depuis longtemps les chercheurs en robotique. Les robots assurant cette tâche s'appellent les robots manipulateurs. On les retrouve dans les chaînes de production dans l'industrie d'automobile et l'industrie électronique ou dans les milieux hostiles ; les milieux à haute pression (milieux sous-marin), basse pression (l'exploration spatiale), hautes températures, fortes radiations, ...etc.

Selon le type de tâche et le secteur d'application, le robot aura une architecture mécanique et un système de commande-contrôle différent.

Les robots manipulateurs ont remplacé l'homme dans beaucoup de tâche en industrie manufacturière. Ils copient les mécanismes de préhension humaine pour effectuer des actions diverses. Les bras mécanisés des robots de chaînes de montages sont souvent munis de pinces, à trois doigts ou plus, à forte capacité de préhension (mobilité et force de pression accrues).

Notre domaine de recherche est orienté vers les robots manipulateurs dont l'effecteur et une partie du bras, travaillent sous haute température. C'est le cas d'un four de traitement thermique des pièces en acier. Notre objectif vise l'automatisation des opérations de pose/dépose des pièces pendant le process de trempe (élévation à 840° et refroidissement dans un liquide). L'ensemble des opérations doit être réalisé en automatique, sans aucune intervention humaine.

Plusieurs axes de recherche sont liés à l'étude de ce type de robots. Dans le cadre de ce travail, on s'intéresse à l'étude de la structure mécanique articulée permettant le balayage de l'espace de travail nécessaire et le choix de l'effecteur travaillant à haute température et capable de maîtriser les pièces.

Parmi les paramètres entrant en jeu dans cette étude, on peut citer : les dimensions de l'environnement de travail, sa température, la précision et la rapidité des mouvements, le poids à soulever et sa forme.

Le mécanisme de préhension doit assurer la stabilité de la prise, gérer l'effort exercé sur l'objet saisi au cours de la manipulation ainsi que l'opposition continue à toutes les forces extérieures. Les actions courantes (tenir, saisir, soulever, pousser...) ne sont pas seulement mécaniques, mais font intervenir des capteurs.

Ce mémoire se compose de trois chapitres qui peuvent être résumés comme suit :

Le premier chapitre est une étude bibliographique dédiée au contexte de l'étude. Il contient deux parties. La première est consacrée à la description des robots en milieux hostiles et l'architecture des robots manipulateurs. La deuxième partie se focalise sur les pinces en industrie manufacturière.

Le deuxième chapitre présente l'étude de la maîtrise d'objet. On cherche sa stabilité et la limite des efforts de serrage sous haute température.

Le troisième chapitre est une application sur le four de traitement thermique de l'entreprise des pelles et grues de Constantine.

---

---

## **CHAPITRE 1**

### **Etude bibliographique sur les robots industriels**

---

---

# CHAPITRE I

## Etude bibliographique sur les robots industriels

### I.1. Introduction

L'automatisation des tâches dans l'industrie a donné naissance aux robots manipulateurs. Ces derniers prennent chaque jour une place plus importante à la fois dans le milieu industriel et les opérations en milieux hostiles.

#### Exemples de robots dans des milieux hostiles

Robots à six axes et bras coudés KR 210 KUKA assurent la manipulation des pièces forgées



**Figure I.1.** Manipulation de pièces à haute température



**Figure I.2.** Manipulation de pièces incandescentes

**Le dextre du Canadarm2 (Température du milieu externe +149°C ou -126°C)**

Le Special Purpose Dexterous Manipulator (SPDM), ou le Dextre, est un robot à deux bras, télémanipulateur mène des activités qui auparavant nécessitaient des sorties dans l'espace.



**Figure I.3.** Le canadarm2 de la station spatiale internationale

La Station spatiale internationale se trouve à 400 km au-dessus de la surface de la Terre. Elle est donc exposée à des températures allant jusqu'à 149°C, lorsqu'elle est alignée directement dans l'axe du Soleil. Quand elle se trouve dans l'ombre de la Terre, la température peut chuter jusqu'à -126°C.

L'isolation multicouche (MLI) est utilisée pour contrôler le taux de transfert thermique. Une seule couche extérieure en tissu aluminé assure la protection des couches intermédiaires de la couverture du bras manipulateur et une grande partie de la station.

L'environnement à haute température comme les fours de traitement thermique est l'un des domaines exigeant le remplacement de l'homme par la machine dans les opérations de manipulation des pièces chaudes.

La conception de ce type de machines ou robots est plus compliquée que celle des robots travaillant dans les conditions normales.

Dans ce chapitre, on présente l'architecture et les caractéristiques des robots industriels, plus précisément les robots manipulateurs travaillant sous hautes températures.

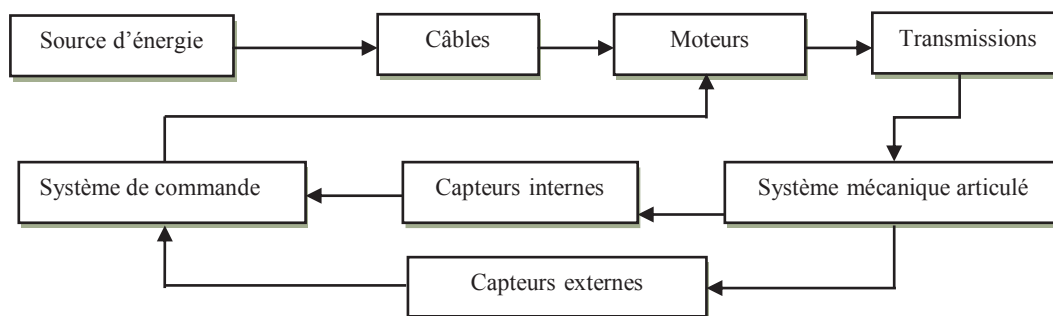
On s'intéresse à l'architecture de la structure mécanique articulée et l'organe terminal du robot industriel.

L'étude bibliographique est constituée de deux parties. La première concerne les robots en milieux hostiles et l'architecture des robots manipulateurs. La deuxième se focalise sur les pinces en industries manufacturière.

## Partie I

### I. 2. Définition d'un robot

Le robot est un système automatique dont la partie opérative est une structure mécanique articulée (figure I.4)



**Figure I.4.** Parties commande-contrôle et opérative du robot

L'Organisation Internationale de Normalisation définit le robot comme étant un manipulateur à plusieurs degrés de liberté, à commande automatique, reprogrammable, multi-applications, mobile ou non, destiné à être utilisé dans les applications d'automatisation industrielle. [06]

### I.3. Constituants mécaniques du robot

Deux sous ensembles : une structure mécanique articulée et un effecteur

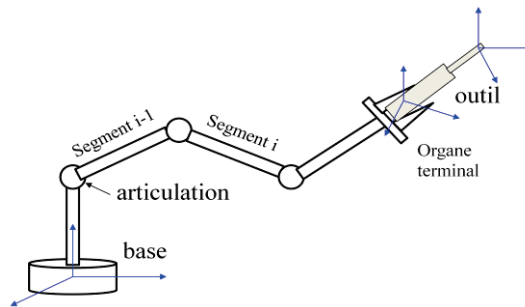


Figure I.5. Constituants mécaniques du robot

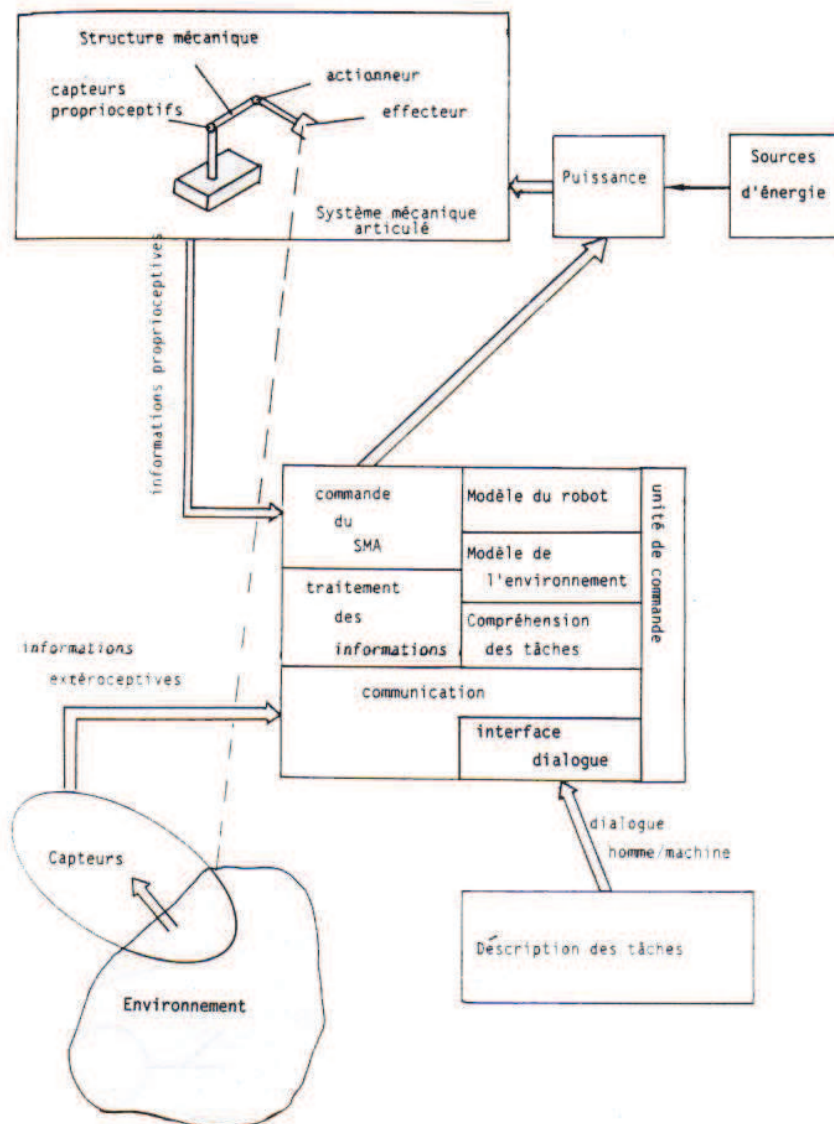


Figure I.6. Différents composants du robot



### I.3.1. La Structure Mécanique Articulée

Le système mécanique articulé (S.M.A.) est un mécanisme ayant une structure plus ou moins proche de celle du bras humain. Il permet de remplacer, ou de prolonger, son action. Son rôle est d'amener l'organe terminal dans une situation (position et orientation) donnée, selon des caractéristiques de vitesse et d'accélération données. Son architecture est une chaîne cinématique de corps, généralement rigides, assemblés par des liaisons appelées articulations. Sa motorisation est réalisée par des actionneurs électriques, pneumatiques ou hydrauliques qui transmettent leurs mouvements aux articulations par des systèmes appropriés

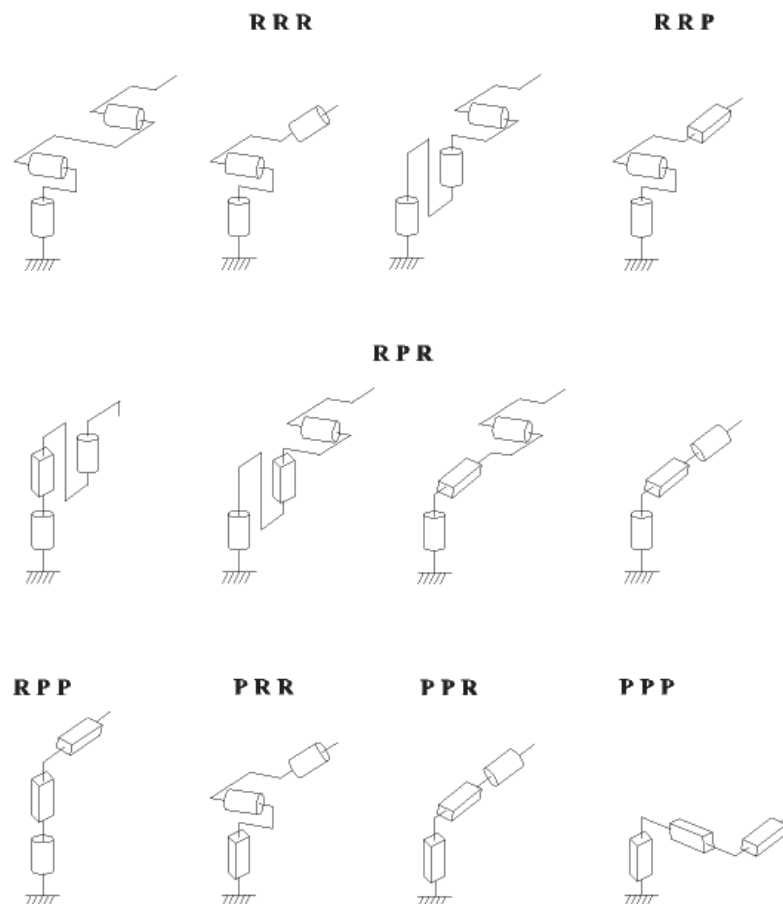
La structure mécanique d'un robot se distingue par trois ensembles :

#### **-Le véhicule**

Le véhicule assure le transport de la structure mécanique vers la zone d'action

#### **-Le porteur**

Le rôle du porteur consiste à mener un point du robot vers un lieu précis de l'espace. Il se compose des trois premiers degrés de liberté. Les différentes configurations sont résumées sur la (figure 1.7).



**Figure I.7.** Principales architectures du porteur

Chaque architecture donne un espace de travail différent, convenable à la tâche à accomplir par le robot.

L'espace de travail est l'espace qui peut être balayé par le point de référence du poignet, augmenté de la plage de mouvement des articulations du poignet.

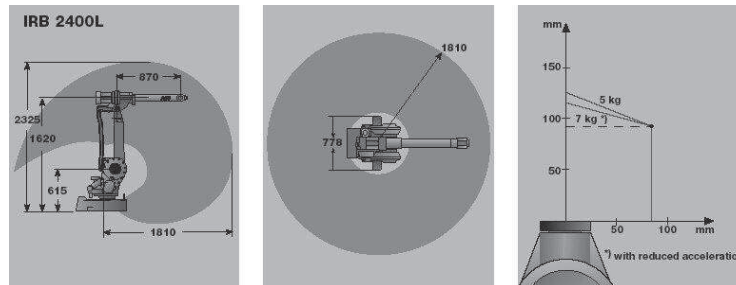


Figure I.8. Représentation du volume de travail

### *Le poignet*

Il assure l'orientation d'un vecteur passant par l'extrémité du porteur. Trois degrés de liberté en rotation autour de trois axes concourant sont nécessaires pour atteindre toutes les orientations possibles. Toutes les structures mécaniques ne possèdent pas un poignet à trois degrés de liberté, ce qui réduit leurs potentialités mais également leur coût

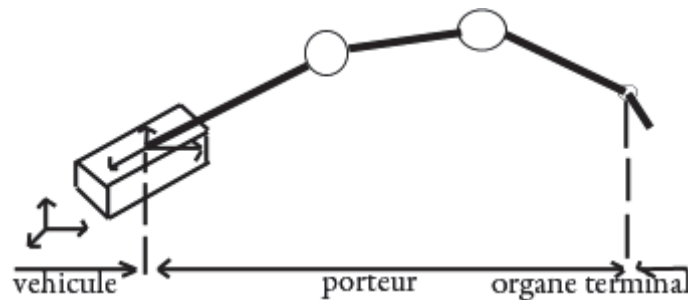
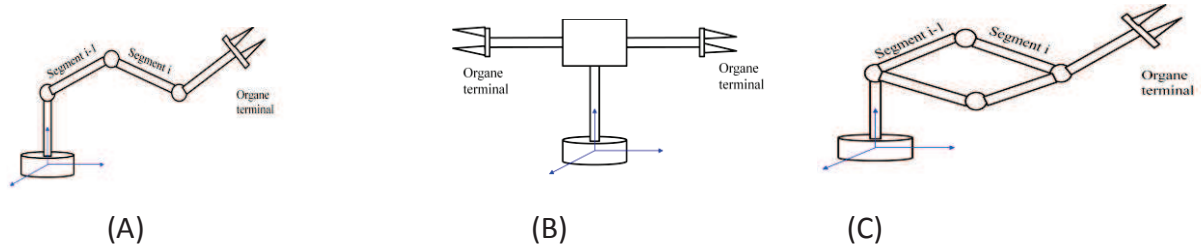


Figure I.9. La structure mécanique articulée

### *Types de chaînes de la SMA*

On distingue trois types de chaînes:

- Chaînes ouvertes simples(A) (aucun retour mécanique d'un segment à un autre dans la chaîne).
- Chaînes arborescentes(B) (il existe plusieurs organes terminales qui agissent en parallèle)
- Chaînes fermées(C) (il existe un retour mécanique d'un ou plusieurs segments à un autre dans la chaîne)



**Figure I.10.** Types de chaînes

### I.3.2. L'effecteur

L'effecteur est l'organe terminal du robot, fixé au poignet. Ce dernier se termine généralement par une plaque percée de trous filetés; cela permet la fixation de différents effecteurs à un robot universel et donc l'adaptation de celui-ci à des tâches spécifiques. Cet élément fera l'objet de la deuxième partie de l'étude bibliographique.

## Partie II

### I.4. L'effecteur dans les robots manipulateurs

#### I.4.1. Classification des effecteurs

On peut distinguer deux grandes catégories d'effecteurs :

##### I.4.1.1. Les outils

L'effecteur dans ce cas est dérivé des outils traditionnels: outil pour soudure, pistolet de peinture ou de collage, broches rotatives pour perçage, vissage, meulage, nettoyage, torche de chauffage, découpage, jet d'eau pour découpage...etc.

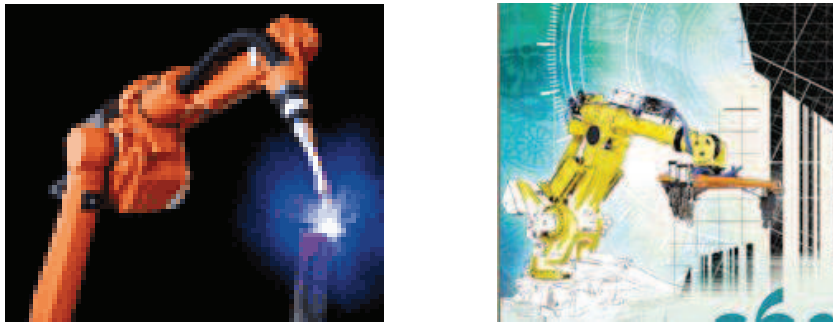


Figure I.11. Outil de soudure et préhenseur

##### I.4.1.2. Les organes de préhension

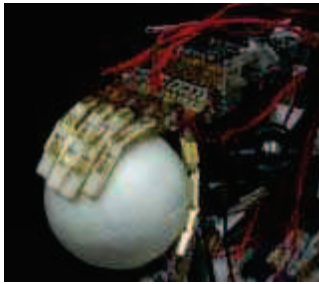
Ils sont utilisés pour saisir et maintenir les objets qui doivent être manipulés et déplacés par le robot. Parmi les applications, on peut citer le chargement et déchargement de machines, la saisie d'objets sur un convoyeur, le placement d'objets sur une palette de manutention...

Un effecteur multiple comprend plusieurs effecteurs, fixés au même poignet. C'est souvent le cas des organes de préhension pour les applications de chargement-déchargement.

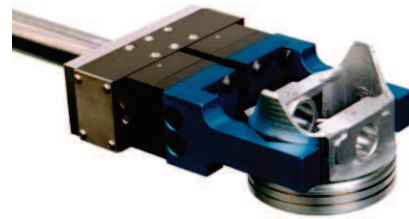
##### *- Modes de préhension*

Le modèle biologique d'un organe de préhension universel est évidemment la main humaine, qui, avec ses 5 doigts, ses 32 degrés de liberté et un certain nombre de capteurs (position, pression, température,...), (figure 1.12.a) possède une souplesse et une capacité d'adaptation inégalées. Un organe de préhension mécanique conçu à l'imitation de la main humaine serait probablement moins performant, plus lourd, maladroit et très cher. En outre, il ne

serait pas nécessaire pour beaucoup d'applications, pour lesquelles un organe spécialement conçu sera peut-être même meilleur. Donc en général, le robot aura des organes de préhension adaptés à la tâche à effectuer, souvent amovibles, pouvant être interchangeables par un opérateur ou par le robot lui-même. Ces organes de préhension seront le plus souvent des "*pinces*" à 2 doigts ou mâchoires (figure 1.12.b), parfois à 3 doigts, rarement à 5 doigts; ces doigts peuvent être amovibles et interchangeables (figure I.12.a).



(a)



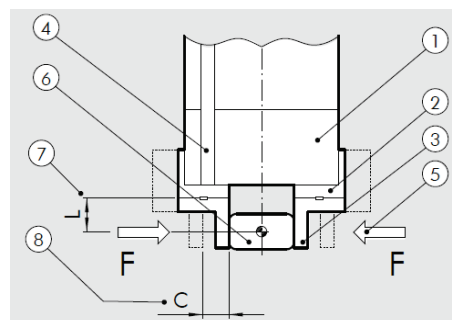
(b)

**Figure I.12.** Mode de préhension [75] [76]

### I.5. Les Pinces

Elles sont largement utilisées dans l'industrie manufacturière. Leur forme dépend de l'élément à saisir et l'environnement dans lequel elles agissent. Elles sont généralement composées (voir figure 1.13) de :

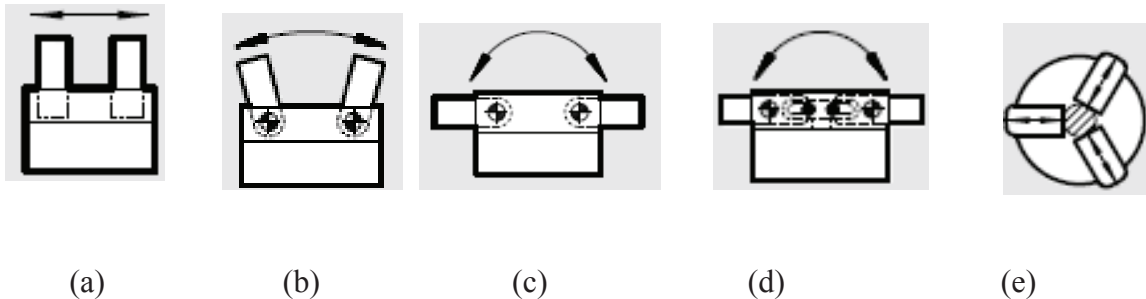
- 1 : Corps de la pince
- 2 : Mâchoires
- 3 : Mors
- 4 : Rainure de capteur
- 5 :  $F$  = force de serrage sur un doigt seulement
- 6 : l'élément à saisir
- 7 :  $L$  = distance entre le centre de gravité de la charge et la surface de référence
- 8 :  $C$  = course d'un doigt



**Figure I.13.** Nomenclature d'une pince

### I.5.1. Type de pinces

On peut les classer en fonction du type de déplacement des doigts.



**Figure I.14.** Type de pinces

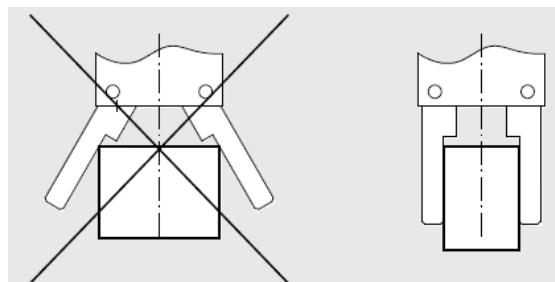
#### *Pinces parallèles (figure 1.14(a)) :*

Les doigts ont un déplacement linéaire. Ils peuvent être au nombre de 2, 3 ou parfois 4.

#### *Pinces angulaires (figure 1.14(b)) :*

Les doigts sont articulés et décrivent un mouvement en arc de cercle. Elles ont, en général un coût plus réduit que les pinces parallèles, mais avec quelques limitations (voir figure 1.14). Avec ce type de pinces :

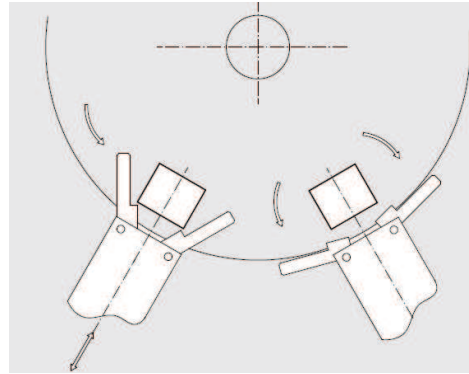
- si la pièce a des dimensions variables, la surface de contact varie.
- si la pièce est cylindrique avec des dimensions variables, la position de l'axe de la pièce varie.



**Figure I.15.** Limites d'utilisation des pinces à ouverture angulaire

***-Pinces angulaires avec doigts rétractables (figure 1.14(c)):***

Les doigts ont un angle d'ouverture d'environ  $90^\circ$ . Les doigts de serrage peuvent s'effacer complètement sur la surface supérieure de la pince, permettant ainsi dans certains cas, d'éviter un mouvement linéaire de reculement



**Figure I.16.** Exemple : pinces à ouverture angulaire

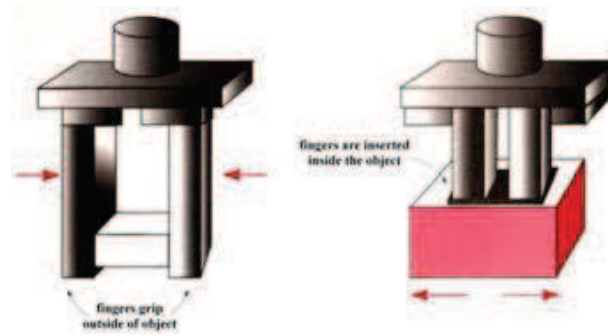
***Pinces à genouillère (figure 1.13(d)) :***

Pinces angulaires avec un mécanisme à genouillère, assurant une grande force de serrage. Le serrage est irréversible même lorsqu'il n'y a plus de pression, aussi la pièce ne peut être relâchée accidentellement. L'angle d'ouverture est de  $90^\circ$ , aussi elle agit comme une pince à doigts rétractables. La force de serrage n'est importante que sur une plage d'angle de rotation limitée.

***Pince à serrage concentrique(e) (intérieur ou extérieur):***

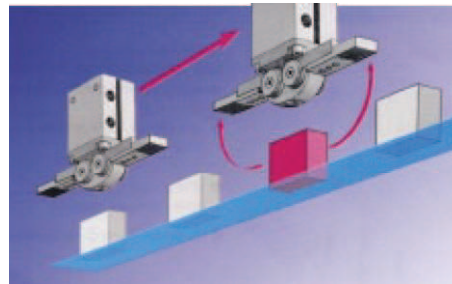
Les pinces à deux doigts sont utilisées pour les pièces de forme prismatique, ou cylindrique à un seul diamètre. Les pinces à trois doigts peuvent être utilisées sur des pièces cylindriques à différents diamètres.

Les pinces parallèles, concentrique et angulaire peuvent travailler dans les deux sens pour réaliser des serrages sur l'extérieur de la pièce ou en intérieur, dans un alésage par exemple (voir figure 1.17).



**Figure I.17.** Serrage intérieur et extérieur

La pince angulaire à ouverture totale (180°), quant à elle, elle ne fonctionne qu'en serrage externe. En effet, elle a été conçue pour dégager totalement les doigts vers l'extérieur, afin de supprimer un mouvement de dégagement au manipulateur (figure 1.18)



**Figure I.18.** Dégagement complet des doigts de la pince à ouverture totale

### I.5.2. Le dimensionnement des pinces

Il se fait en fonction des données du cahier des charges de l'application, qui sont :

- la fonction opérative de la pince
- les caractéristiques : forme, masse, matériau de la pièce à saisir
- les trajectoires et accélérations de la pince
- la course totale d'ouverture
- le temps d'action requis.

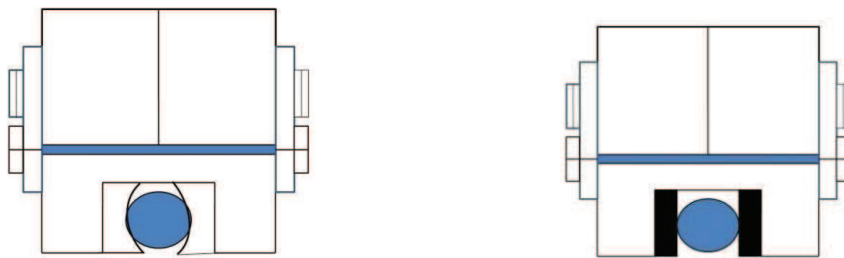
Le dimensionnement permettra de définir la taille de la pince, c'est-à-dire la force de serrage développée capable d'assurer l'équilibre de toutes les forces statiques et dynamique agissant sur la pièce à manipuler. Il faut ensuite, vérifier la capacité d'absorption de l'énergie cinétique en fin de course du préhenseur choisi. La dernière étape consiste à vérifier que tous les efforts (poids, force d'inertie, effort extérieur...) appliqués sur le guidage en rotation ou en translation des pré-mors sont compatibles avec les charges statique et dynamique maximales admissibles par la pince.



Le maintien d'un objet dans la pince se fait soit :

**Par obstacle** : où le maintien est basé sur une constriction de l'objet entre les doigts (figure 1.19(a)), ces derniers entourent l'objet, au moins en partie, et bloquent tout mouvement relatif de l'objet par rapport à la pince (lorsque celle-ci est serrée).

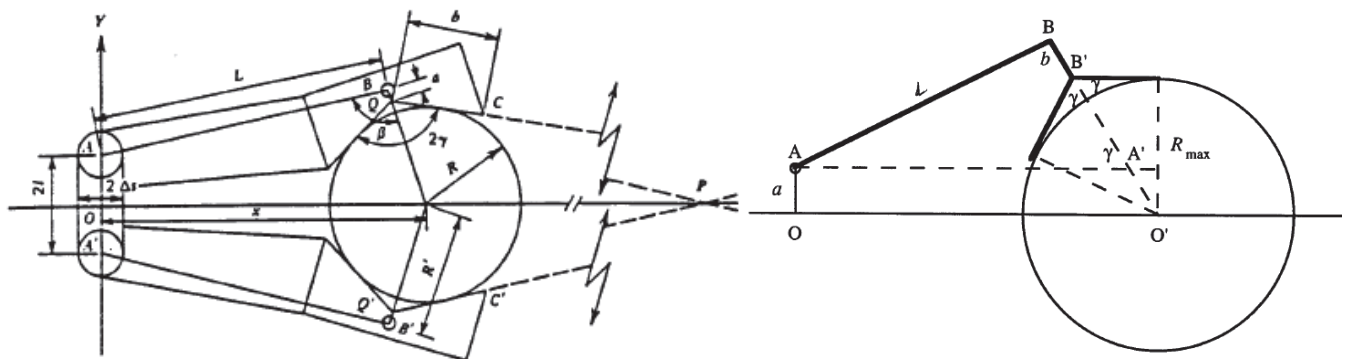
**Par adhérence** : dans ce cas, le maintien est basé sur la force de frottement (sec) entre les doigts et l'objet (figure 1.19(b)).



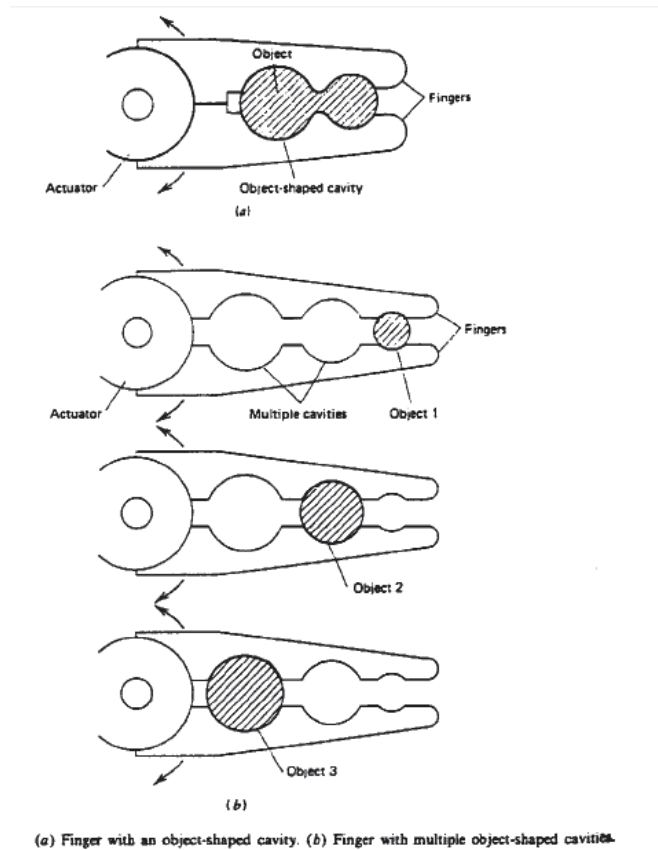
**Figure I.19.** (a) la préhension par obstacle (b) La préhension par adhérence

Il faut donc étudier la forme des doigts, au moins de la partie des doigts qui est en contact avec l'objet, et l'adapter à la forme de l'objet : cavités adaptées à la forme de l'objet, cavités en  $V$  pour pièces cylindriques. Dans le cas d'une pince (rotative) à deux doigts, avec cavités en  $V$ , le diamètre maximum des objets que l'on peut saisir et manipuler, en fonction des caractéristiques de la pince est donné par (voir figure 1.20) :

$$R_{\max} = a + \frac{L}{\sin \gamma} \sin \gamma = a + (L \cos \gamma - b) \sin \gamma$$



**Figure I.20.** (a) Préhension par constriction universelle (b) Limite de la constriction



**Figure I.21.** Préhension par constriction dédiée

Lorsque l'objet est maintenu par des forces de frottement, il faut que celles-ci soient suffisantes pour retenir l'objet malgré les autres forces qui s'exercent sur lui (pesanteur, inertie, force de réaction due à la tâche exécutée, ...). Souvent, la partie de la pince en contact avec l'objet est faite d'une matière non dure, ce qui accroît le coefficient de frottement et peut aussi protéger la surface de l'objet manipulé de dommages tels que griffes, coups, .... En outre, il en résulte généralement aussi une déformation locale, qui entraîne un contact sur toute une ligne ou une surface (d'où la protection évoquée ci-dessus) et un certain effet de constriction.

### I.5.3. Mécanismes de préhension

L'ouverture ou la fermeture de la pince peut être commandée par :

- un mouvement de rotation ou,
- un mouvement de translation

Le serrage peut être symétrique ou asymétrique ; la réalisation d'un serrage asymétrique est évidemment plus facile, mais ce type de serrage présente un inconvénient : si on veut éviter un déplacement de l'objet saisi, il faut tenir compte du diamètre de celui-ci lors de la

programmation de la position de la pince du robot, de façon à ce qu'une des mâchoires de la pince vienne affleurer l'objet à saisir ; par contre, dans le cas où le serrage est symétrique, il suffit de programmer la position du centre de l'objet (quelque soit sa taille).

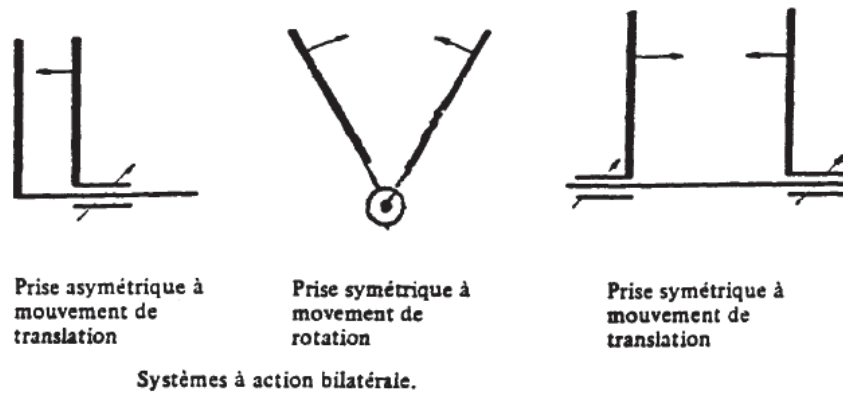


Figure I.22. Prises bilatérales

Le dispositif cinématique utilisé pour actionner la pince peut être :

- un mécanisme à plusieurs barres
- un dispositif à came
- un système à pignon crémaillère

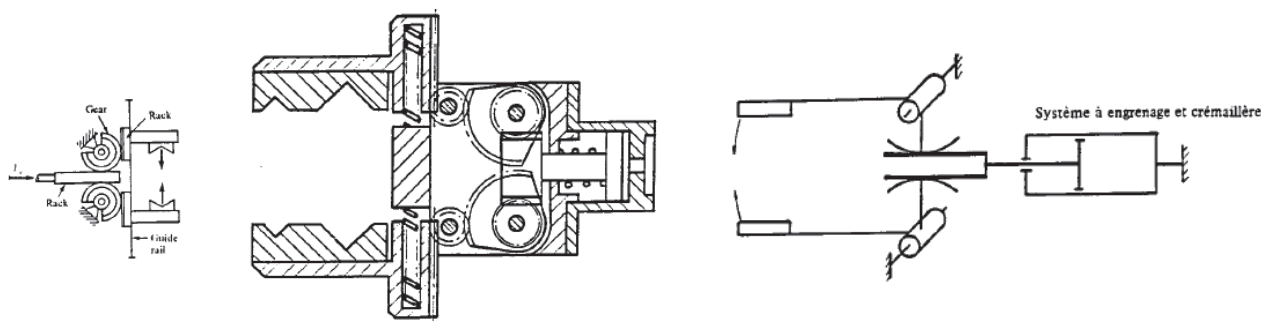


Figure I.23. Système pignon crémaillère

- un système vis écrou (dispositif irréversible)
- un système à câbles et poulies, surtout utilisé quand les actionneurs sont placés assez loin des doigts, pour des raisons d'équilibrage, ou dans des organes à prise multilatérale.

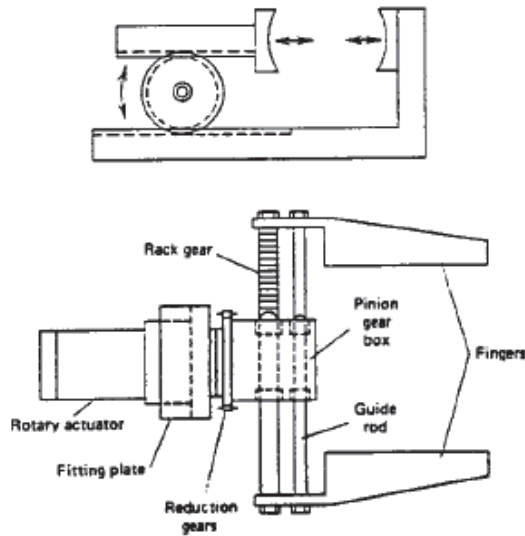


Figure I.24. Système vis écrou

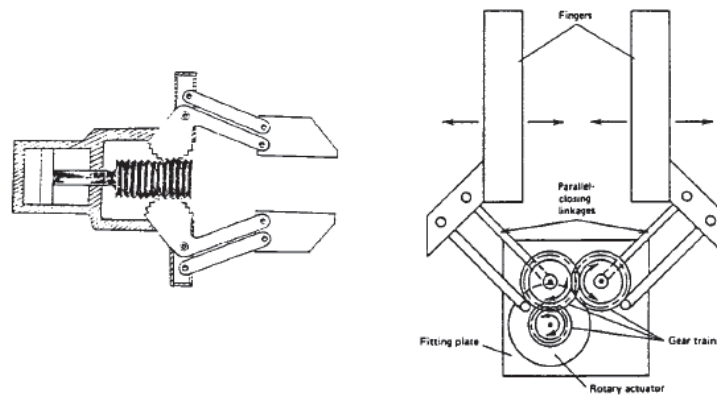


Figure I.25. Déplacement des deux mâchoires de la pince

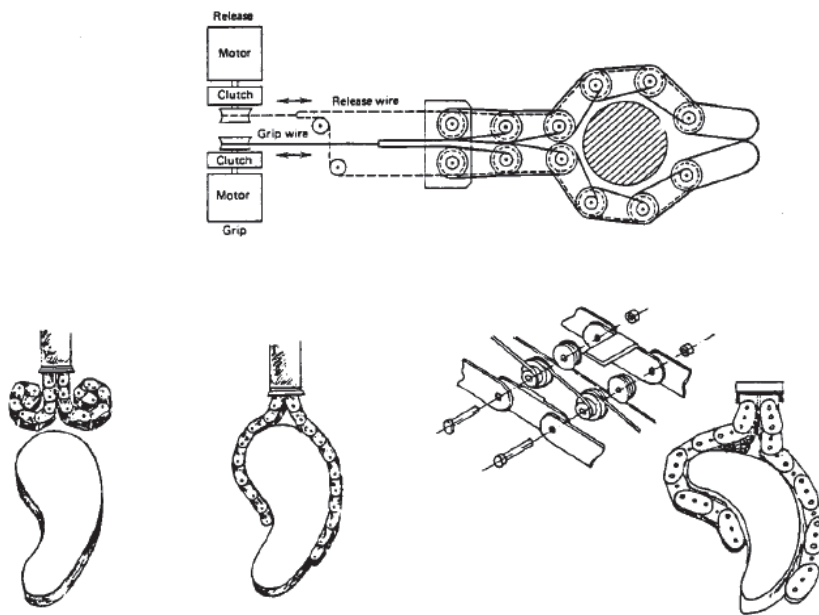


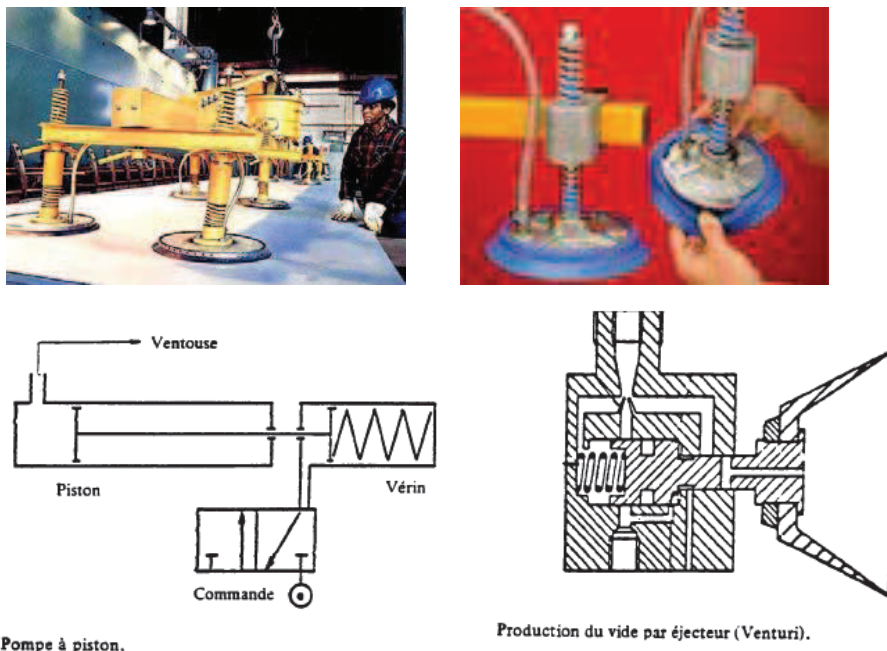
Figure I.26. Système s'adaptant à la forme de l'objet

### *Autres organes de préhension*

Outre les organes de préhension mécanique, il y a un grand nombre d'autres préhenseurs; en général, ce sont des dispositifs à actions unilatérales, qui ne viennent au contact que d'une seule face de l'objet, sur lequel ils exercent une force d'attraction. Ce sont surtout :

#### — \* *Ventouses à vide*

Ce sont des préhenseurs peu encombrants, légers et propres, exerçant une dépression uniforme sur la surface de l'objet saisi, utilisables pour de nombreux matériaux différents, pourvu que l'objet à saisir ait une surface plane, imperméable à l'air, assez rigide, propre et avec un bon état de surface, toutes ces conditions étant nécessaires à la réalisation d'une dépression suffisante.



**Figure I.27.** Ventouses à vide

#### \* *Ventouses magnétiques*

Ce sont des aimants permanents ou des électroaimants. Par définition, ce type de préhenseurs n'est valable que pour les matériaux magnétiques.

Parmi ses avantages, on peut citer :

- un temps de saisie très court
- la tolérance par rapport à la forme et à la taille de l'objet saisi ; celui-ci peut être percé de trous, ce qui n'était pas le cas avec des ventouses à vide

Parmi les inconvénients, il y a :

- la saisie simultanée de plusieurs objets empilés (empilement de tôles fines)
- l'attraction de limailles et copeaux métalliques
- dans le cas d'un aimant permanent, la nécessité d'un mécanisme de relâchement pour désolidariser l'objet du préhenseur
- un manque de précision dans le positionnement, résultant des possibilités de dérapage de l'objet saisi.



**Figure I.28.** Ventouses magnétiques

#### **I.5.4. Actionneurs de l'effecteur**

L'actionnement de l'effecteur peut être :

- électrique
- pneumatique
- hydraulique
- mécanique (dispositif à câbles et poulies)

L'actionnement pneumatique se fait généralement à l'aide d'un vérin pneumatique, réalisant un mouvement de translation. Il a l'avantage de la simplicité, et d'une certaine élasticité due à la compressibilité de l'air ; en outre, le contrôle des pressions permet éventuellement un réglage de la force de serrage.

L'actionnement électrique se fait à l'aide de petits moteurs à courant continu ou pas-à-pas; le contrôle du courant ou l'utilisation de capteurs de force permet un réglage des forces de serrage.

L'actionnement hydraulique est très rare, à cause des inconvénients liés à ce type d'énergie (nécessité d'une centrale hydraulique, fuites,...).

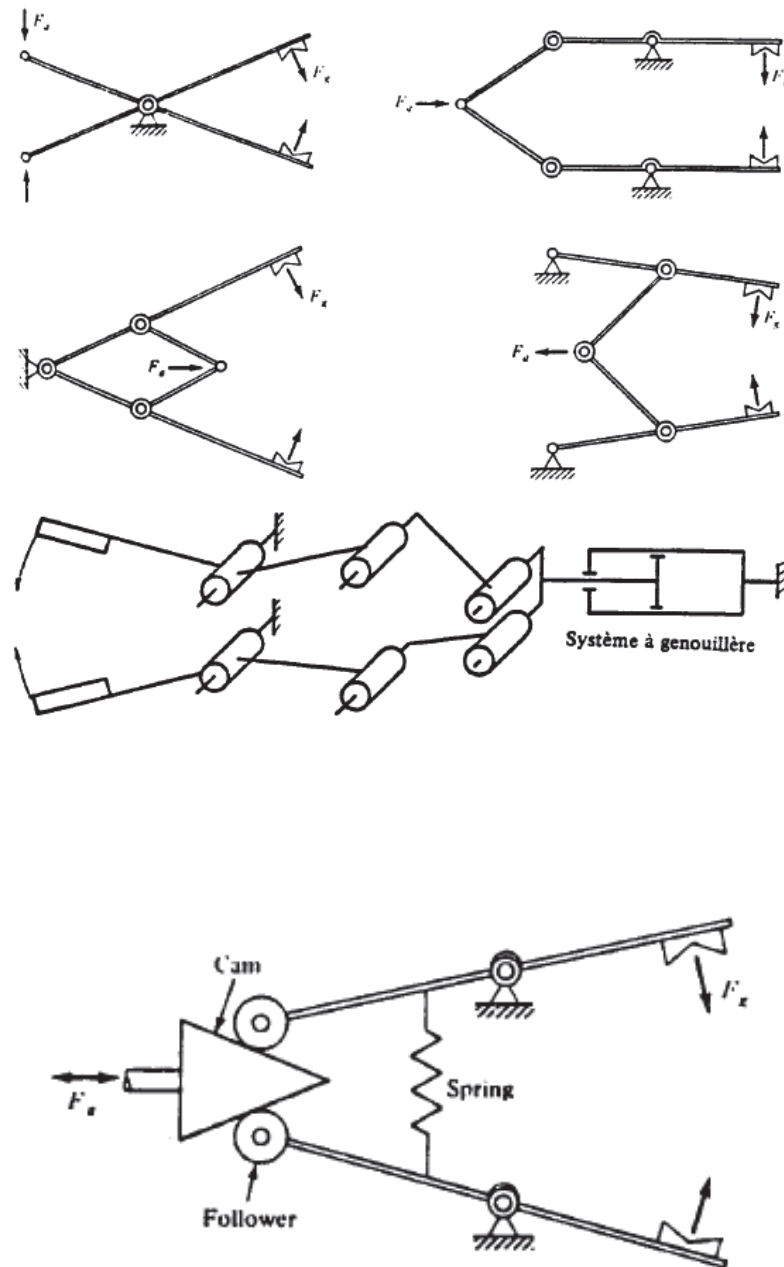


Figure I.29. Mécanismes de transmission

## I.6. Conclusion

Dans cette étude bibliographique, nous avons présenté l'architecture mécanique générale, d'un bras manipulateur. Cette dernière est composée du porteur et du poignet. Le porteur, formé des trois premiers ddl, assure le positionnement de l'organe terminal. Son architecture, donne l'espace de travail du bras. Le poignet, est composé en maximum de trois liaisons rotoïdes, il détermine l'orientation de l'organe terminal.

Dans la deuxième partie de l'étude bibliographique, on a présenté un ensemble d'outils utilisés en manutention d'objet. Nous sommes arrivés à retirer les critères de choix d'un organe de préhension et qui sont :

- Les caractéristiques du porteur dépendant surtout de la masse maximale transportable
- Les données concernant la géométrie de l'objet à transférer
- La technologie de préhension, en particulier le mode de saisie et le principe du maintien en position de l'objet en cours de transfert.

Le dernier point fera l'objet du deuxième chapitre.



---

---

## **CHAPITRE 2**

### **Modélisation des bras manipulateurs**

---

---

## CHAPITRE II

### Modélisation des bras manipulateurs

#### II.1. Introduction

La modélisation de Système polyarticulé a pour but de représenter au mieux le robot dans son environnement pour ensuite lui programmer des trajectoires avec la Planification de mouvement.

La modélisation du robot consiste à représenter son comportement par des équations algébriques, soit du point de vue des positions, c'est le modèle géométrique, soit de point de vue des vitesses, c'est le modèle cinématique ou encore en considérant les efforts mis en jeux, c'est le modèle dynamique.

#### II.2. Modèle géométrique direct

Le modèle géométrique direct (MGD) d'un bras manipulateur exprime la situation de son Organe Terminal (OT) en fonction de sa configuration. Donc il exprime la position instantanée de l'OT par rapport au repère fixe lié au bâti.

$$\begin{aligned} f: N &\rightarrow M \\ q &\rightarrow x = f(q) \end{aligned}$$

Description dans l'espace d'état (espace articulaire) de la valeur de la position Articulaires.



Description dans l'espace cartésien (repère) (espace opérationnel)

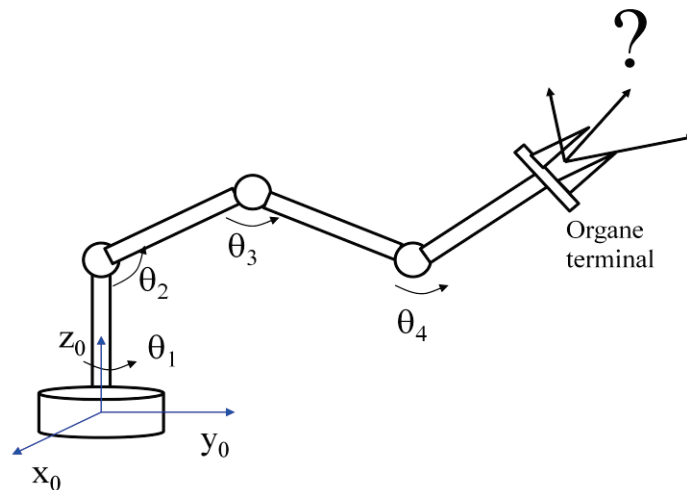


Figure. II.1 SMA paramétrée.

### II.2.1. Calcul du MGD

La méthode de Denavit-Hartenberg est la plus répandue. Dans nos calculs, on utilise DH non modifiée. Pour définir ces transformations, il est tout d'abord nécessaire de définir les axes des liaisons :

-Les axes  $\vec{z}_n$  sont suivant les axes des liaisons.

-Les axes  $\vec{x}_n$  sont parallèles à la normale commune à  $\vec{z}_{n-1}$  et  $\vec{z}_n$  soit :

$$\vec{x}_n = \vec{z}_{n-1} \wedge \vec{z}_n .$$

-Les axes  $\vec{y}_n$  sont choisis de manière à former un trièdre direct avec les axes  $\vec{z}_n$  et  $\vec{x}_n$  .

Chaque transformation entre deux corps successifs est donc décrite par quatre paramètres :

1.  $d$ , la distance selon l'axe  $\vec{z}_n$  entre les axes  $\vec{x}_n$  et  $\vec{x}_{n+1}$
2.  $\theta$ , l'angle entre autour de l'axe  $\vec{z}_n$  entre les axes  $\vec{x}_n$  et  $\vec{x}_{n+1}$
3.  $r$ , la distance selon l'axe  $\vec{x}_n$  entre les axes  $\vec{z}_{n-1}$  et  $\vec{z}_n$  . C'est donc également la longueur de la normale commune.
4.  $\alpha$ , l'angle entre autour de l'axe  $\vec{x}_n$  entre les axes  $\vec{z}_{n-1}$  et  $\vec{z}_n$

En multipliant les matrices de rotation et de translation élémentaire, on peut obtenir la transformation globale entre deux liaisons successives qui s'écrit :

$$T = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\cos(\alpha) \sin(\theta) & \sin(\alpha) \sin(\theta) & r \cos(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\alpha) \cos(\theta) & -\cos(\theta) \sin(\alpha) & r \sin(\theta) \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

On peut calculer formellement la matrice inverse :

$$T^{-1} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 & -r \\ -\cos(\alpha) \sin(\theta) & \cos(\alpha) \cos(\theta) & \sin(\alpha) & -d \sin(\alpha) \\ \sin(\alpha) \sin(\theta) & -\cos(\theta) \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & -d \cos(\alpha) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

La matrice de passage de l'organe terminal à la base (fixe), est donnée par le produit des matrices élémentaires:

$${}^0_n T = {}^0_1 T \ {}^1_2 T \ \dots \ {}^{n-1}_n T$$

### II.3. Modèle géométrique inverse MGI

Le problème du modèle géométrique inverse peut être formulé comme suit: on souhaite amener l'outil dans une position déterminée, avec une orientation imposée, quels sont les déplacements au niveau des articulations.

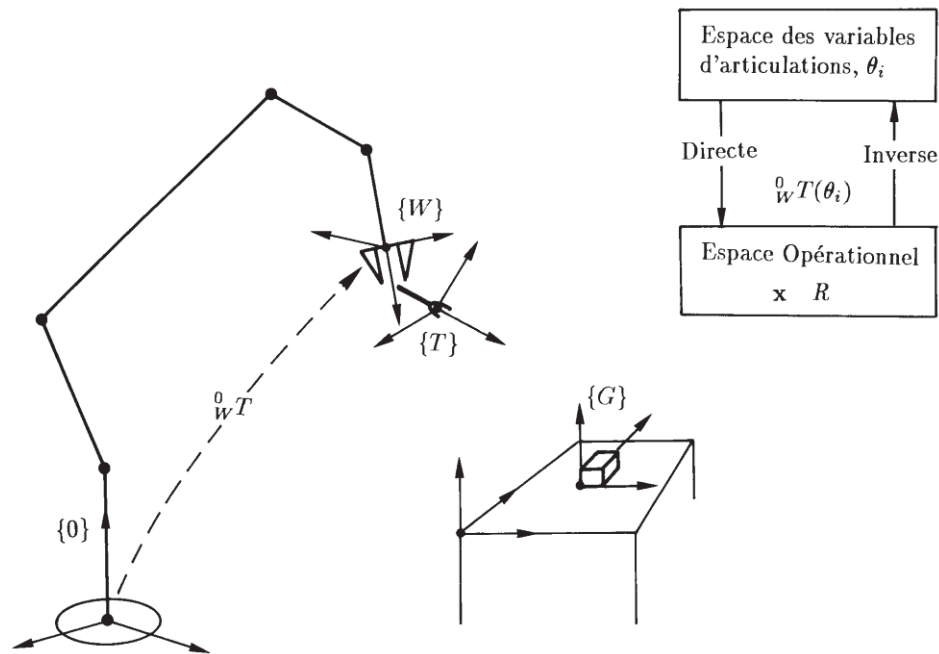


Figure II.2. Description schématique des différents référentiels

### II.3.1. Problèmes du modèle géométrique inverse

#### - Existence de solution

L'existence de solution de l'équation  $X = f(q)$  est conditionnée par le fait que l'effecteur évolue dans le domaine atteignable. Ce domaine est défini d'une part par des limitations dimensionnelles des éléments mécaniques formant le vecteur  $X$  et d'autre part d'éventuelles limitations structurelles.

#### a) limitation dimensionnelles

Ces limitations sont fonction :

- des amplitudes finies des rotations et translations que peuvent réaliser les actionneurs.
- des longueurs finies des segments constituant l'architecture mécanique du vecteur.

#### b) limitations structurelles

Ces limitations sont caractérisées par des architectures particulières du vecteur  $X$ , et aussi que si le nombre  $n$  d'actionneurs est inférieur et égal à six le domaine atteignable est alors une variété de  $\mathbb{R}^6$  de dimension inférieure ou égale à  $n$  [53].

### -problèmes liés à l'inversion de $f$

Dans la plupart des cas d'architecture complexe du vecteur  $X$ , l'application  $f$  est fortement non linéaire et son inversion n'est possible que dans certaines régions du domaine atteignable. Dans le cas où  $f$  est déduite de l'une des méthodes de description citées précédemment. Alors les problèmes suivants se posent :

-la solution analytique n'existe pas toujours et lorsqu'elle existe son expression est souvent assez difficile à déterminer.

-lorsque deux axes de rotation sont confondus ou lorsque deux axes de translation deviennent parallèles, l'organe terminal perd un degré de liberté.

-la prise en considération des butées articulaires et des obstacles est, en général, très difficile et nécessite l'élaboration d'algorithmes spéciaux.

#### II.4. Modèle cinématique direct

Le Modèle cinématique direct d'un robot manipulateur est le modèle qui permet de calculer la vitesse de déplacement du point  $P$  en fonction des variables articulaires  $\dot{q}$ , il s'agit de déterminer le vecteur  $\dot{X}$  défini par la vitesse de rotation  $\omega_i^j$  du repère  $R_j$  par rapport au repère  $R_i$  et la vitesse de déplacement  $V_i^j$  du point  $p$ .

$$dX = J(q)dq$$

Où  $J = J(q)$  est la matrice jacobienne de la fonction  $f$ , de dimension  $m \times n$  :

$$J : T_q \rightarrow T_x M$$

$$\dot{q} \rightarrow \dot{x} = J\dot{q} \quad \text{où } J = \frac{\partial f}{\partial q}$$

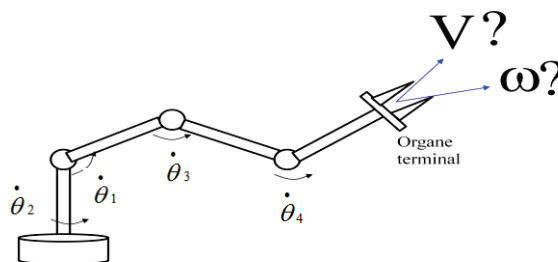


Figure II.3. Exemple d'un Modèle cinématique direct

### II.5. Modèle cinématique inverse

L'objectif du modèle cinématique inverse est de calculer, à partir d'une configuration  $q$  donnée, les vitesses articulaires  $\dot{q}$  qui assurent au repère terminal une vitesse optimale  $\mathbf{X}$  imposée.

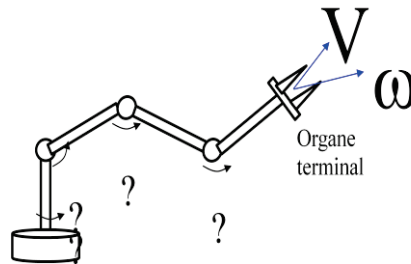


Figure II.4. Modèle cinématique inverse

### II.6 Modèle dynamique direct

Le modèle dynamique est le modèle des efforts, lorsqu'on prend en compte les effets dynamiques. Le modèle dynamique direct est celui qui exprime les accélérations en fonction des positions, vitesses et couples des actionneurs. Il est alors représenté par la relation :

$$\ddot{\mathbf{q}} = \mathbf{g}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \mathbf{C}, \mathbf{F})$$

$\ddot{\mathbf{q}}$  : c'est le vecteur des accélérations articulaires.

$\mathbf{q}$  : c'est le vecteur des positions articulaires.

$\dot{\mathbf{q}}$  : c'est le vecteur des vitesses articulaires.

$\mathbf{C}$  : c'est le vecteur colonne des couples/forces des actionneurs, selon que l'articulation est rotoïde ou prismatique

$\mathbf{F}$  : c'est l'effort extérieur (forces et couples), à exercer par l'organe terminal.

Le formalisme de Lagrange est mieux adapté pour le calcul du modèle dynamique.

### II.7 Modèle dynamique inverse

les équations qui donnent les couples ou forces à appliquer par les actionneurs en fonction des positions, des vitesses et des accélérations des variables de ces actionneurs, et en

fonction des efforts extérieurs appliqués sur les différents éléments du robot : pesanteur et effort sur l'outil.

### ***Formalisme de Lagrange***

Le formalisme de Lagrange décrit les équations du mouvement en terme de travail et d'énergie du système :

$$\Gamma_i = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i}$$

Avec :

- L : lagrangien du système égale à E-U
- E : énergie cinétique totale du système
- U : énergie potentiel totale du système

#### **II.7.1. Problèmes du modèle dynamique**

Le développement de la technologie des calculateurs et des logiciels du calcul symbolique peut remédier à certains problèmes de modélisation tels que le risque d'erreur lors des calculs mais, il existe toujours d'autres problèmes. Le modèle d'un robot est conçu non seulement dans un but simulation, mais surtout de la commande. Dans ce dernier cas on se trouve face à trois types de problèmes :

- le modèle doit être valide, c'est-à-dire suffisamment précis. Or, plus le comportement devient dynamique moins on va pouvoir négliger des effets considérés comme parasites.
- le modèle dynamique étant essentiellement non linéaire, de nombreux coefficients fonction de la configuration vont devoir être évalués en ligne ce qui pose un problème d'exécution en temps réel.

#### **II.8. Statique des robots**

Les modèles géométriques, cinématique et dynamiques permettent d'engendrer des commandes ayant pour effet de déplacer le robot dans son environnement qui est la première fonction, la deuxième fonction est le calcul des forces et des couples ressentis sur les actionneurs lorsque l'organe terminal, en l'absence de mouvement, est soumis à un effort extérieur ou doit exercer un effort sur son environnement.



La statique d'un robot manipulateur consiste à chercher l'équilibre sous l'effet des différentes forces appliquées au robot.

### II.8.1. Elaboration du modèle statique

L'objectif de l'élaboration du modèle statique est de calculer les commandes à fournir aux actionneurs pour que l'organe terminal puisse exercer un effort  $F_i$  sur l'environnement, l'effort  $F_i$  est représenté par une force et un couple.

Pour les structures à chaîne ouverte simple, deux méthodes sont envisagées pour l'élaboration du modèle statique [55].

#### *\* Méthode fondée sur le principe des travaux virtuels*

C'est-à-dire que l'on considère tous les actionneurs à l'arrêt sauf l'actionneur  $i$  qui engendre un déplacement virtuel constitué d'une translation ou d'une rotation. Cette méthode donne directement le vecteur des couples aux actionneurs, sans passer par le calcul des forces et couples agissant sur chaque corps de la chaîne.

#### *\* Méthode utilisant les équations d'équilibre de la chaîne articulée*

Pour élaborer ces équations, on procède comme dans la méthode comme dans de Newton-Euler exposée dans le modèle dynamique mais, on suppose que  $\dot{q} = 0$  et que  $\ddot{q} = 0$ . On détermine donc les équations d'équilibre des forces et moments au point  $O_i$  centre du repère  $R_i$  exercés sur le solide  $S_i$ . On obtient enfin la force ou le couple que doit fournir l'actionneur  $i$  et en ajoutant éventuellement un terme correctif représentant les frottements statiques.

## 4.12 Conclusion

L'obtention de différents modèles n'est pas aisée, la difficulté variant selon la complexité de la cinématique de la chaîne articulée. Entrent en ligne de compte le nombre de degrés de liberté, le type des articulations mais aussi le fait que la chaîne peut être ouverte simple, arborescente ou fermée.

---

---

## **CHAPITRE 3**

## **APPLICATION**

---

---

## CHAPITRE III

# Application

### III.1. Introduction

Notre travail a été effectué au niveau de L'ENMTP (Entreprise Nationale du Matériel de Travaux Publics). Elle est spécialisée dans le développement de tout processus de fabrication et distribution entrant dans la filière travaux publics de l'industrie mécanique. L'activité actuelle porte sur la conception, la production et la commercialisation de matériels de terrassement, de levage, de manutention et de compactage, ainsi que sur les matériels pour air comprimé et enrobés; et ceux pour la préparation de béton et autres matériaux. Sa capacité annuelle peut arriver jusqu'à : 500 pelles, 500 grues, 2000 compacteurs et 2000 compresseurs par an. L'entreprise fabrique 85% des pièces de son produit, elle n'importe que les moteurs.

Le potentiel industriel de L'ENMTP est considéré comme l'un des plus importants d'Afrique. Il est structuré selon une spécialisation par lignes de produits, chaque unité disposant de la plus grande autonomie industrielle. Le taux d'intégration moyen des engins produits est estimé à l'heure actuelle à 70%. Elle travaille sous les licences de marques internationales.



**Figure III.1.** Produit de l'entreprise

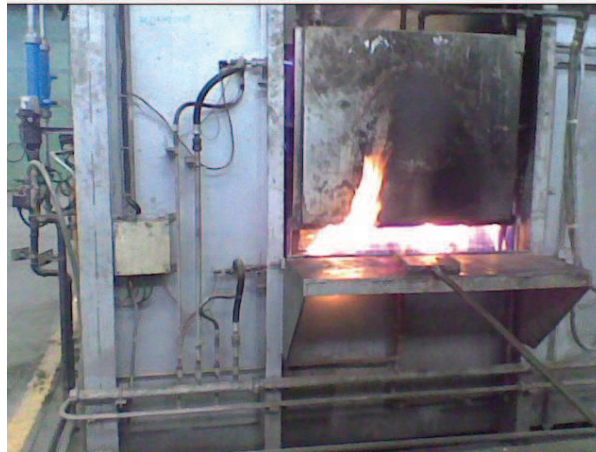
L'ENMTP favorise le développement de la sous-traitance par des mesures incitatives, en l'intégrant comme priorité. Cette sous-traitance concerne:

- L'usinage
- La mécano-soudure
- Le traitement thermique

Par traitement thermique, on désigne toute opération faite à chaud et destinée à modifier la microstructure d'un métal pour lui donner de nouvelles caractéristiques. Pour les aciers d'amélioration, c.-à-d. les aciers au carbone et les aciers faiblement alliés, certains traitements sont quasi obligatoires pour obtenir une performance optimale. Un traitement thermique permet de modifier et d'ajuster les propriétés mécaniques de l'acier: limite élasticité, résistance à la traction, ténacité, dureté et résilience aux besoins de l'utilisation. Pour ces raisons, l'entreprise utilise un four à sole tournante pour le traitement thermique des pièces qui nécessitent des modifications au niveau des caractéristiques.

### III.2. Principe de fonctionnement du four de traitement thermique

Le four travaille avec un système d'une sole tournante, divisée en 8 secteurs (selon les dimensions des pièces, chaque secteur peut avoir une seule pièce si elle est grande et plus d'une pièce si elle est petite).



**Figure III.2.** Four à sole tournante pour le traitement thermique

#### Dimensions de la porte

-Hauteur: 700mm

-Largeur : 800mm

-distance entre la porte et la sole : 800mm

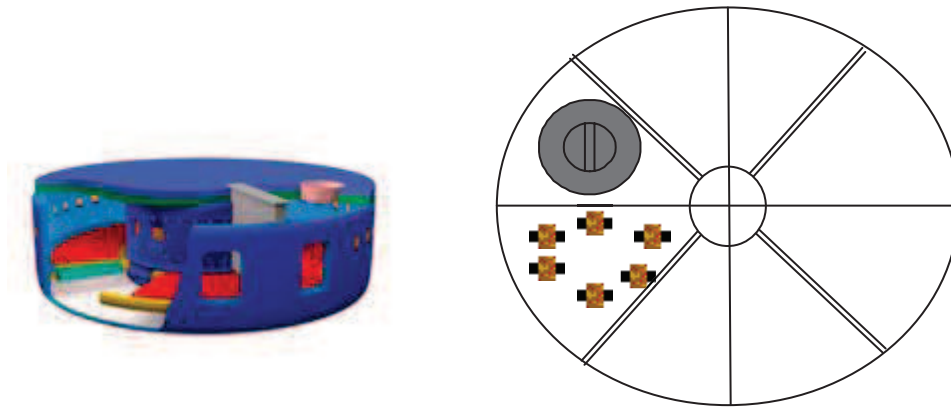


Figure III.3. Schéma de la sole tournante

**Exemple de pièces nécessitant le traitement thermique**

Le four traite plusieurs types de pièces. Le tableau suivant montre quelques unes (plus de détail dans l'annexe 1)

Nom / code	Dessin	caractéristiques
<p>Arbre de sortie 931003201</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>-17 Cr Ni Mo 6</li> <li>-résistance à la traction : 1000-1350N/mm<sup>2</sup></li> <li>-Ø min : 77 mm</li> <li>-modèle ou matrice N°: L1955</li> </ul>

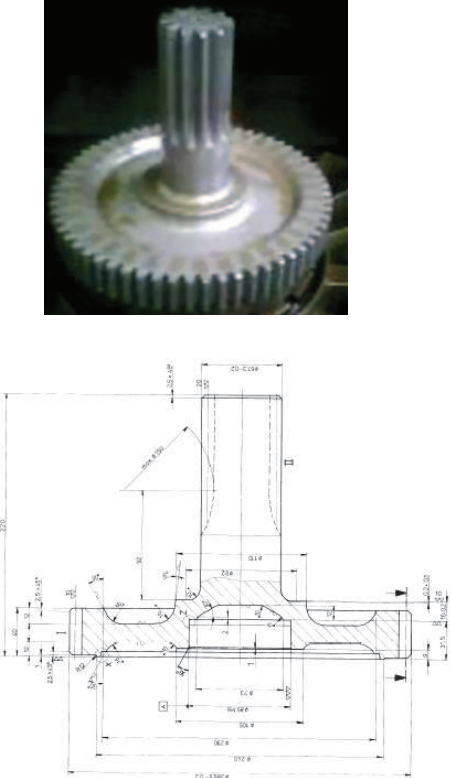
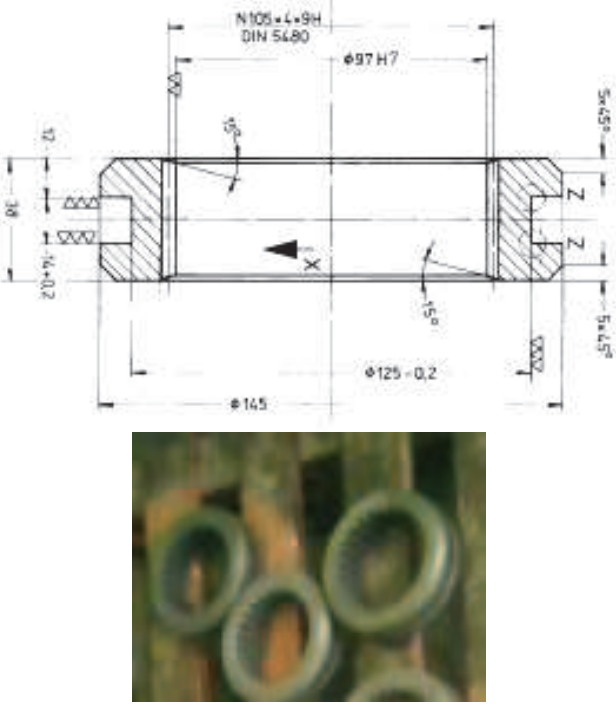
<p>Roue jumelée 931005001</p>		<p>-17 Cr Ni Mo 6 -résistance à la traction : 1000-1300N/mm<sup>2</sup> -Ø min : 67.3 mm -modèle ou matrice N°: L 1965</p>
<p>Manchon de commande 931061501</p>		<p>-17 Cr Ni Mo 6 -résistance à la traction : 1100-1350N/mm<sup>2</sup> -Ø min : 125mm -modèle ou matrice N°: L2166</p>

Figure III.4. Exemple de pièces nécessitant un traitement thermique

Le poids des pièces varie entre [2kg - 30kg]

\*le temps que passe la pièce à l'intérieur du four est entre [1/2 h - 1h].

Le four travaille sous 840°C, il est équipé de tubes radiants pour éviter l'oxydation des pièces.

### III.3. Les tâches à effectuer par l'opérateur

Les images ci-dessous montrent l'opération de mise en place des pièces dans le four et leur retrait.



Figure III.5. Séquence des tâches effectuées par l'opérateur

L'opérateur prend la pièce, la met devant le four. La porte s'ouvre en appuyant sur un bouton, à l'aide d'un crochet, l'ouvrier place la pièce dans le four pour une durée déterminée. Ensuite, il la fait sortir pour la placer dans une matrice de refroidissement.

\***Pour les petites pièces** : l'ouvrier utilise de différents crochets (selon la forme de la pièce) pour déposer ou retirer la pièce de four et la mettre dans une matrice pour le refroidissement avec un liquide (huile) (il y a 15 matrices).



**Figure III.6.** Placer et retirer les petites pièces

*-Pour les grandes pièces* : l'ouvrier utilise une pince pneumatique avec une rotation et guidage manuelle pour déplacer la pièce



**Figure III.7.** Placer et retirer les grandes pièces

#### **III.4. Problématique**

Ce qui pose problème au niveau de cette tâche, c'est l'absence de sécurité pour l'opérateur. Il se trouve en face d'une flamme et une chaleur de température de l'ordre de 840°C. Les pièces sont placées et retirées à l'aide d'une simple pince, un grand risque que la pièce glisse et tombe directement sur les pieds de l'opérateur. En outre, il est possible de déformer ou laisser empreinte sur la pièce chaude en cas d'appliquer une force non contrôlée (voir figure III.8).



**Figure III.8.** L'opérateur en face de la flamme



## Influence de la température sur l'acier

Les (figures III.9.(a)) et (figures III.9.(b)) montrent respectivement la limite d'élasticité et le module d'élasticité de l'acier en fonction de sa température. A haute température, la plasticité augmente et sa dureté diminue.

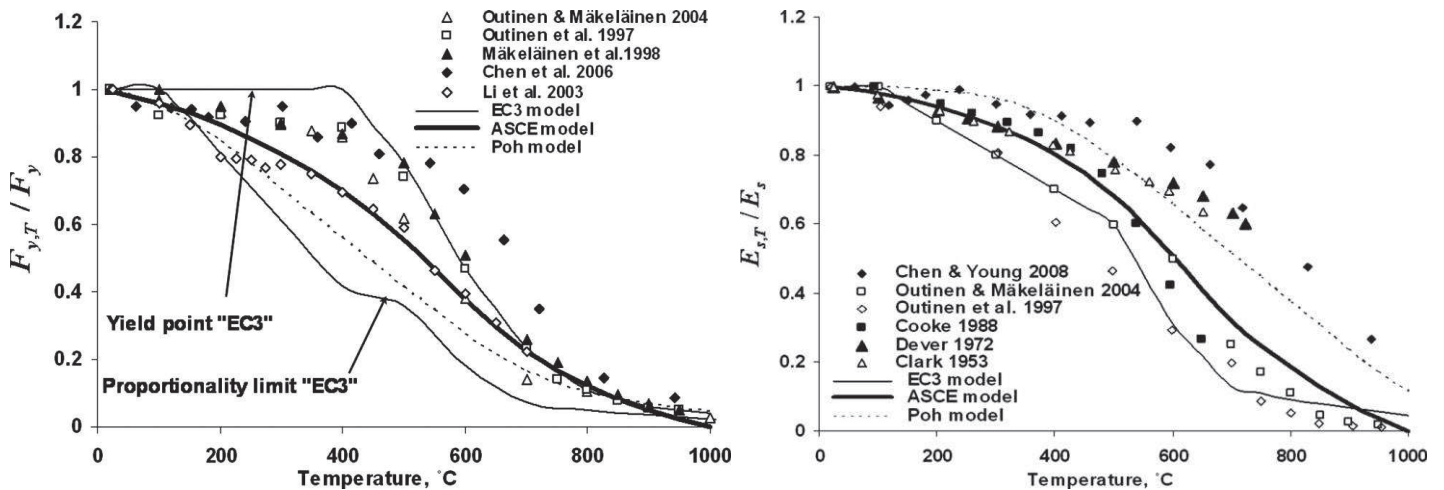


Figure III.9. (a) Limites d'élasticité pour l'acier

(b) Module d'élasticité de l'acier

Afin de remédier à cette situation, l'entreprise a décidé de remplacer l'opérateur par une machine (bras de robot) capable d'exécuter les mêmes tâches.

En plus d'assurer une sécurité à l'ouvrier, on contrôle la pression exercée sur la pièce chaude.

### III.5. Analyse fonctionnelle

#### III.5.1. Contraintes de fonctionnement

##### -Contraintes liées au process

Contrainte liées aux conditions de travail : le bras mécanique doit mettre les pièces dans un four qui travaille à une température élevée (840°C).

##### -Contraintes liées à la pièce

Les contraintes liées à la pièce proviennent des exigences fonctionnelles et de la nature de celle-ci. Toutes les pièces à traiter sont de formes cylindriques mais avec des dimensions et des poids différents. Autre contrainte qui s'ajoute, la pièce à déplacer est sensible à tout effort de

pression. Le risque de glissement de la pièce existe aussi, il faut assurer une adhérence entre la pièce chaude et la pince lié au bras.

### Tâches à assurer par le bras

Le bras doit effectuer les mouvements présentés sur la (figure III.10). Soit **O** la position de son bâti et **A** la position initiale de la pièce à traiter. Le bras prend la pièce de la position **A** pour la placer dans le four **B**. Après l'opération de traitement thermique sur la pièce, le bras retire cette dernière du four, puis la place dans une matrice pour le refroidissement (position **C**). Ensuite, le bras la retire et la pose sur la table (position **D**).

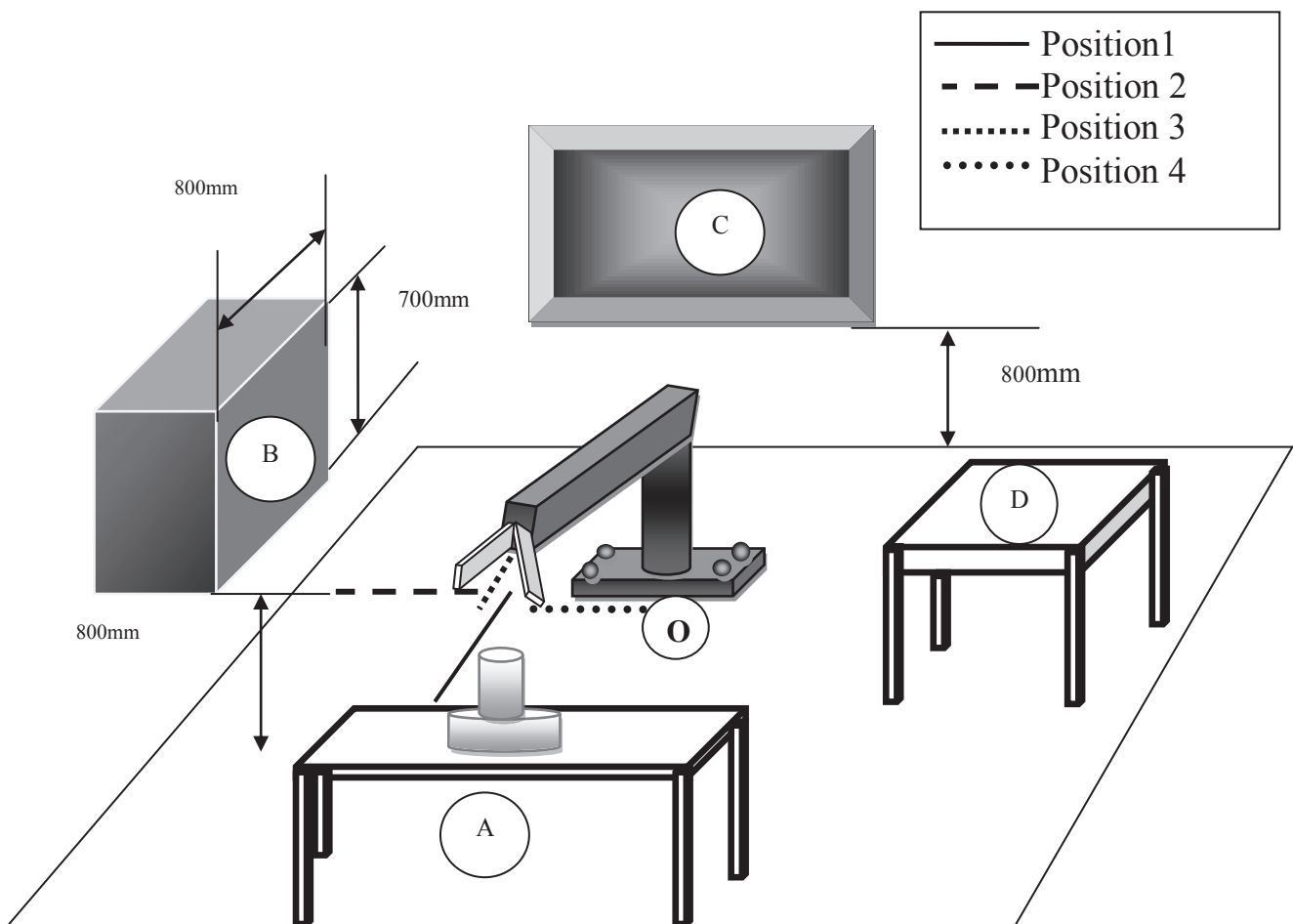


Figure III.10. Schéma de l'espace de travail du bras

De la description de la tâche à effectuer par le bras, on peut s'orienter vers un bras manipulateur de type « pick and place ».

Pour bien assurer la tâche, plusieurs considérations doivent être prises en charge. On s'intéresse au trois suivantes :

- Le Volume atteignable;
- La Capacité de la charge;
- La température

### III.5.2. Structure du bras

Après une comparaison entre les différentes structures, nous avons trouvés que la structure qui va répondre à notre besoin est la (RPP).

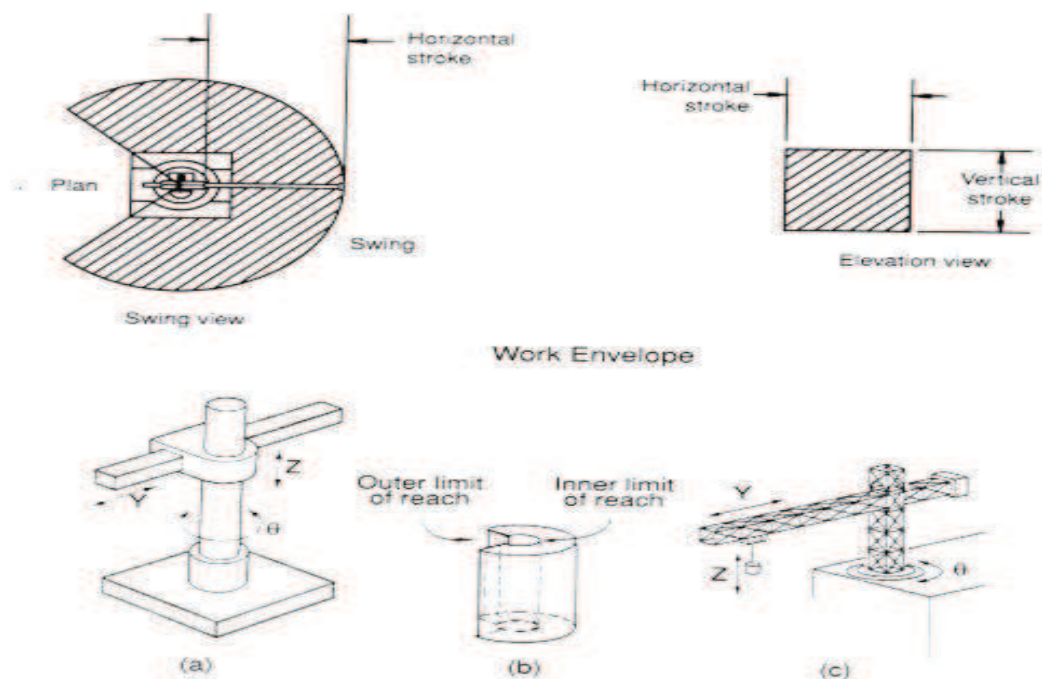
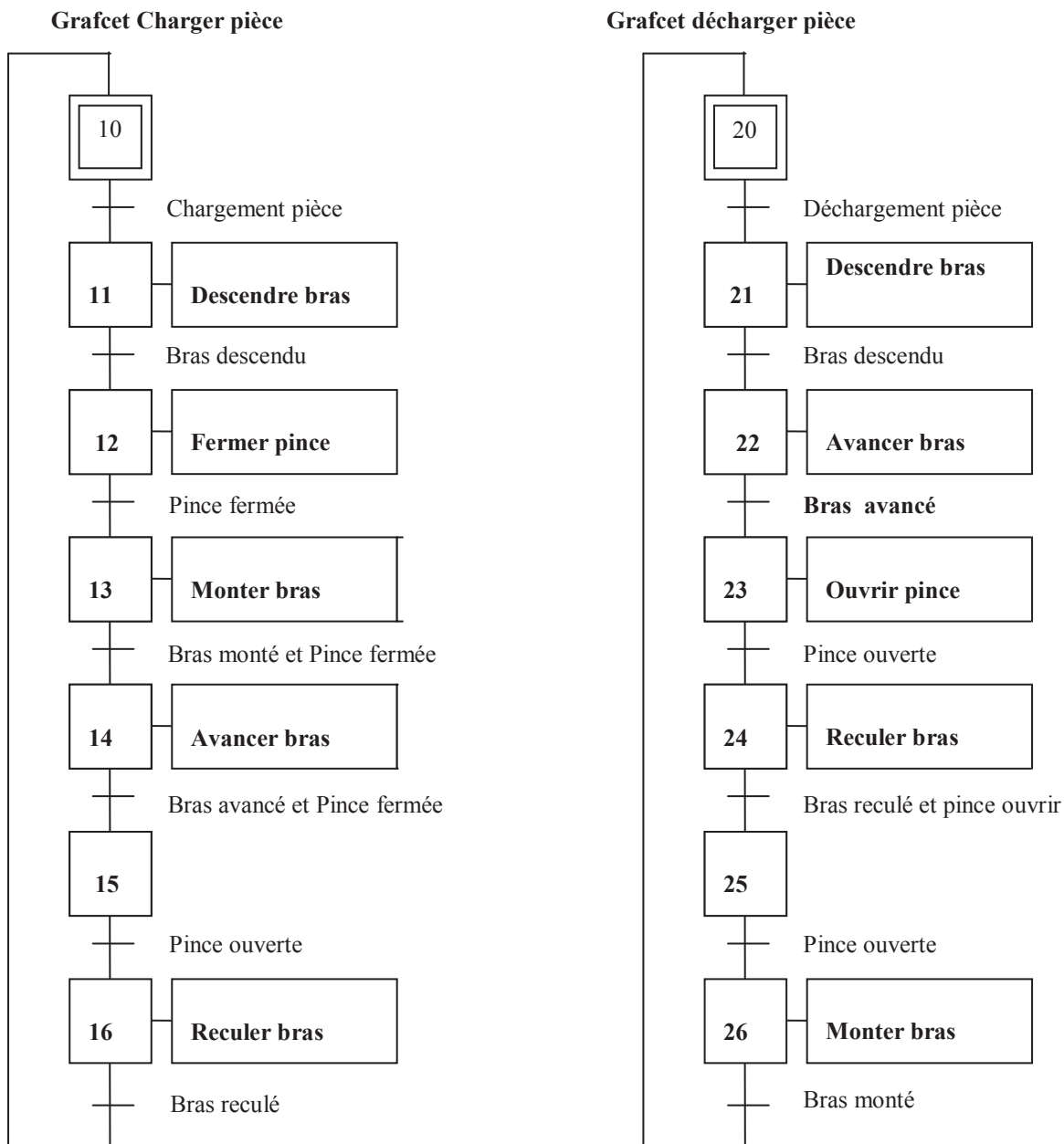


Figure III.11. Espace de travail du robot RPP

#### Avantage de la structure RPP :

- très puissante lorsqu'on utilise les moteurs hydrauliques
- leur structure verticale économise l'espace de travail

### III.5.3. Diagrammes fonctionnels



**Figure III.12.** Grafcet Charger et décharger la pièce

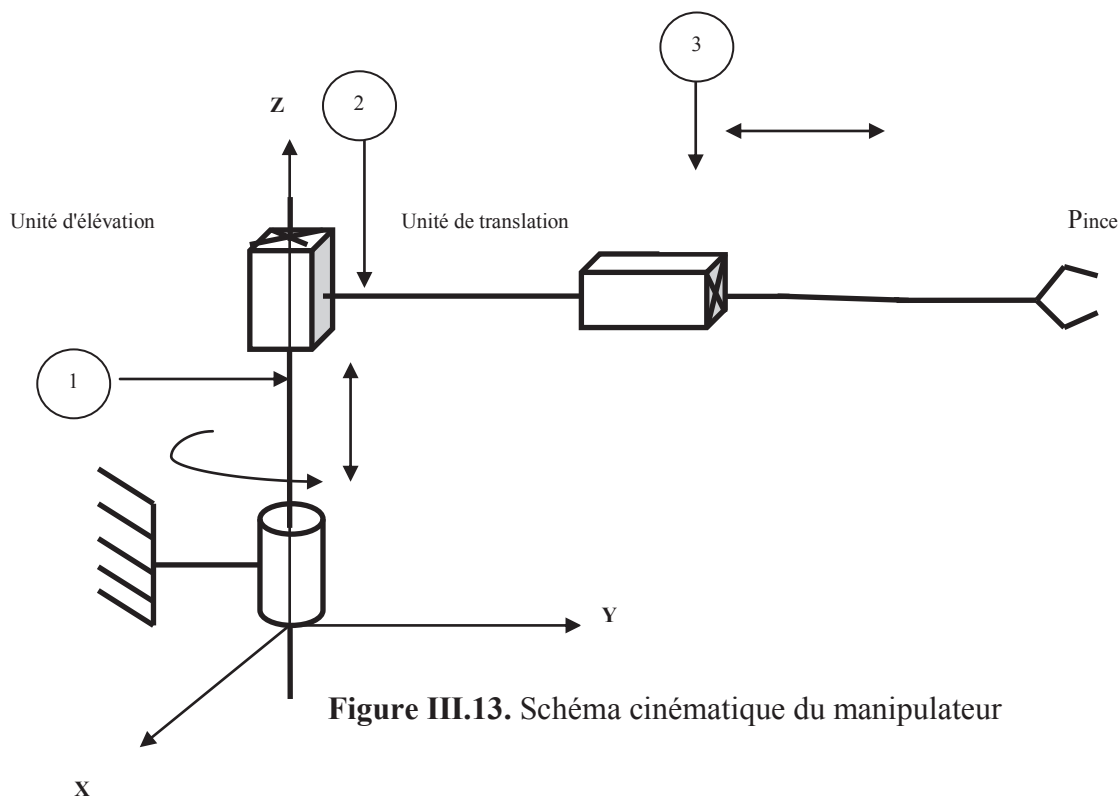
#### *\*Solution proposée*

Concernons la première contrainte qui est la température élevée du four, nous proposons l'orientation vers une solution mécanique.

**\*Commentaire :**

Notre bras manipulateur se déplace entre le four et le bac de refroidissement sur une glissière, et le moteur 14 assure le déplacement du bras à l'aide d'une vis sans fin

Le mouvement de rotation de la base 1 est assuré par un moteur 1, en utilisant les engrenages comme système de transmission du mouvement (figure III .14). Le mouvement de translation sur l'unité d'évaluation 5 est assuré par un moteur 2 et une vis à bille. Pour l'équilibre du bras, nous avons ajouté deux glissières montées sur les deux cotés de l'unité d'évaluation. Pour le troisième mouvement ou la translation au niveau de l'unité de translation, est assuré par un vérin pneumatique. En fin, la partie la plus importante dans ce robot manipulateur, c'est la pince. L'ouverture et la fermeture de cette dernière sont assurées par un moteur 3, assurant la transmission du mouvement par un système vis-écrou.

**Schéma cinématique du manipulateur**

**Figure III.13.** Schéma cinématique du manipulateur

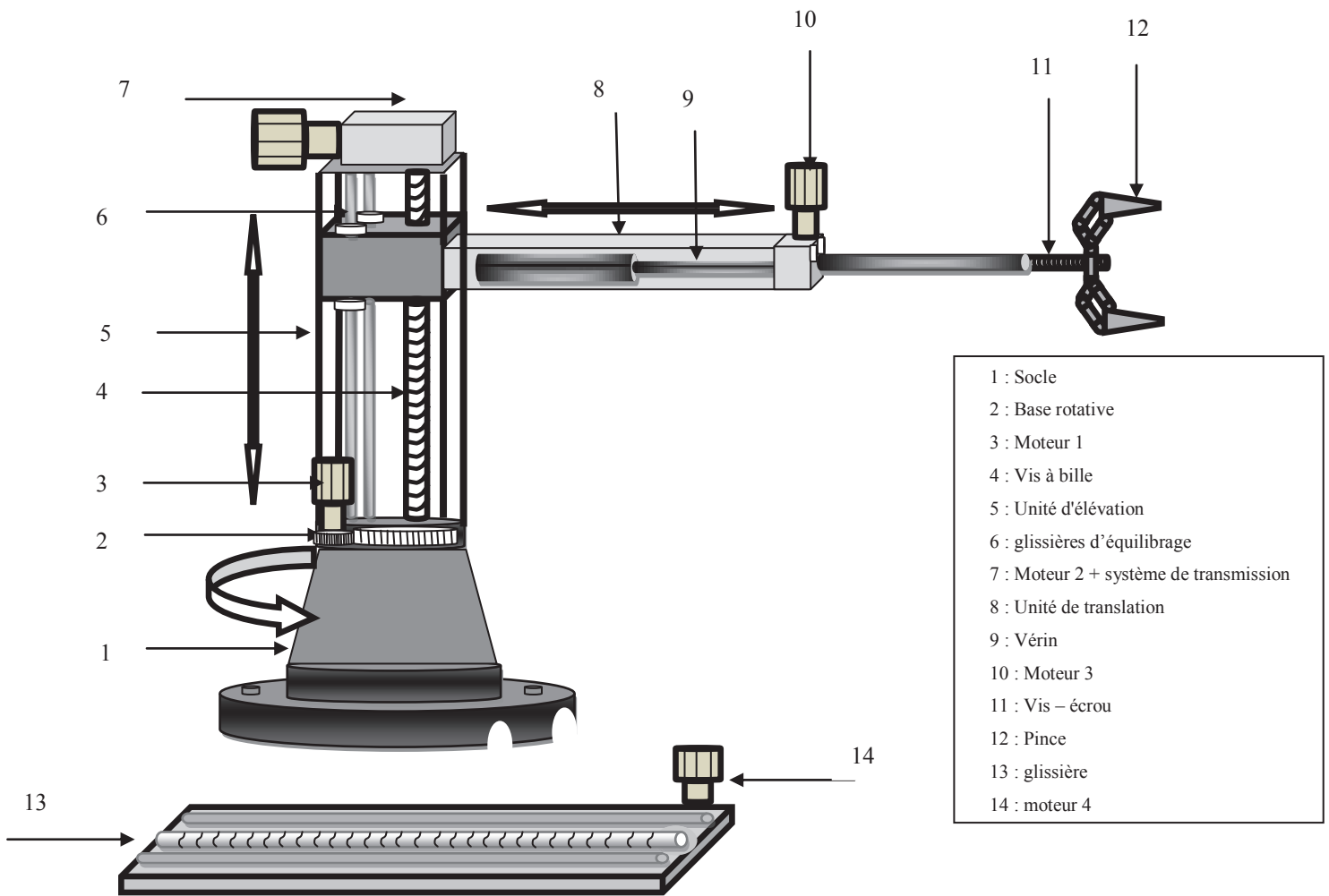


Figure III.14. Le bras manipulateur proposé \*

La base du robot est menée d'un déplacement linéaire à vitesse constante entre le four et la matrice de refroidissement. Cette solution, nous permet de réduire la longueur du bras et donc le moment de flexion dû au poids de la pièce.

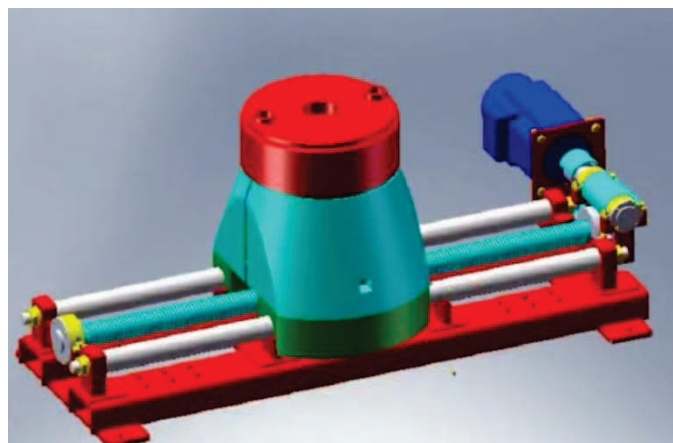


Figure III.15. Mouvement linéaire de la base

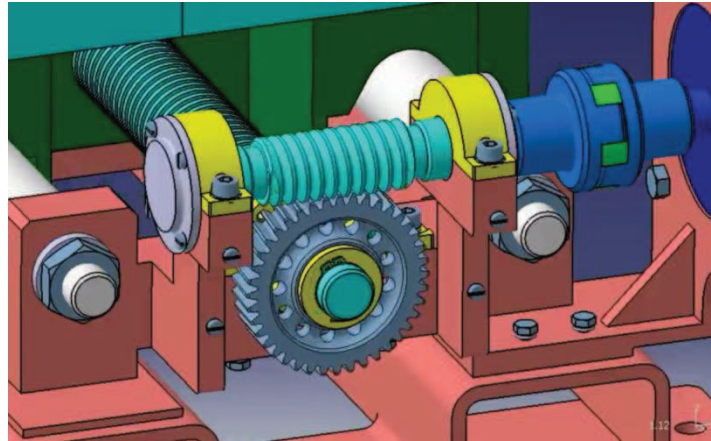


Figure III.16. Système de transmission du mouvement linéaire

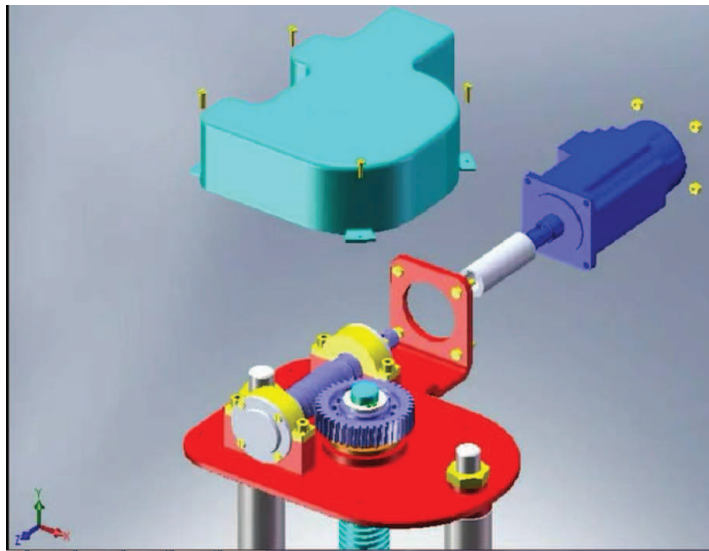


Figure III.17. Système de transmission du mouvement linéaire

#### III.5.4. Modèle géométrique direct

*Paramétrage de Denavit-Hartenberg (non modifié)*

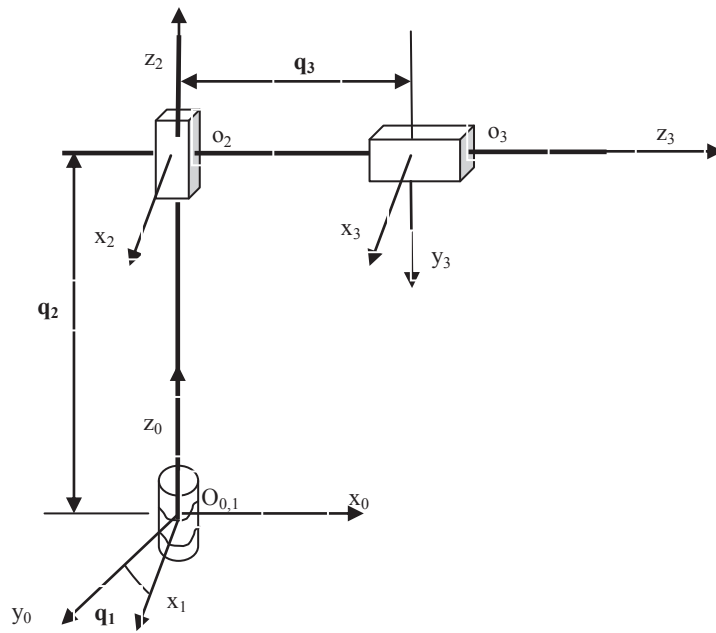


Figure III.18. Porteur cylindrique avec les repères DH

\*Table des paramètres D-H

Liaison	$\alpha_i$	$d_i$	$\theta_i$	$r_i$
$L_1$	$0$	$0$	$q_1$	$0$
$L_2$	$0$	$0$	$0$	$q_2$
$L_3$	$-\pi/2$	$0$	$0$	$q_3$

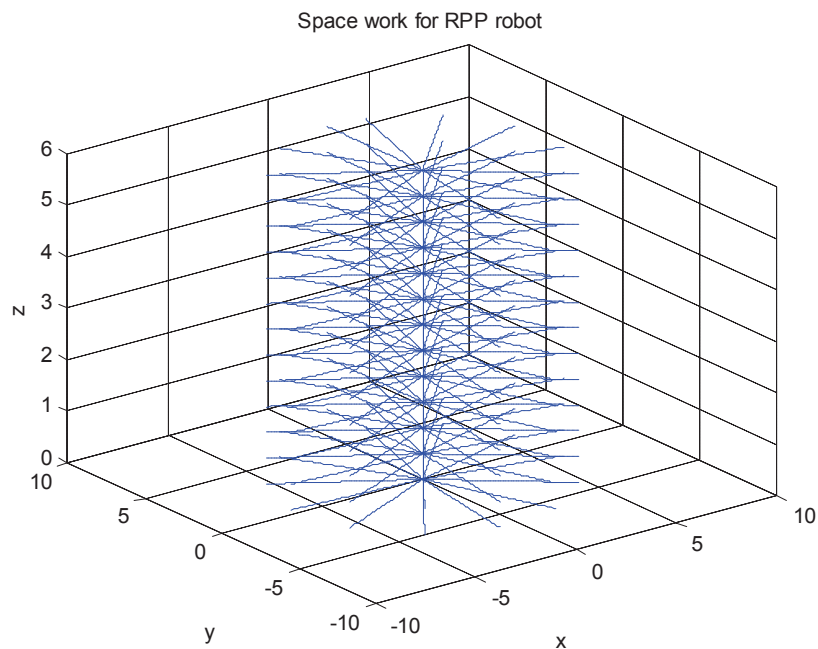


Figure III.19. L'espace de travail



### III.5.5 Diagramme des interacteurs (Diagramme pieuvre)

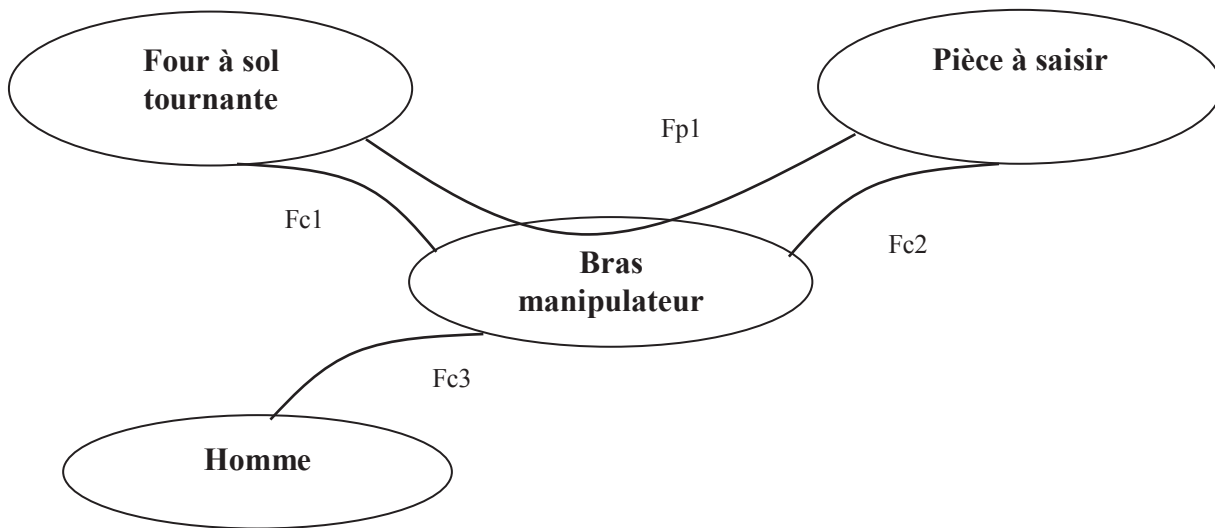


Figure III.20. Diagramme des interacteurs

**Fonction principale :**

**Fp1** : placer/retirer des pièces dans le four

**Fonction complémentaires :**

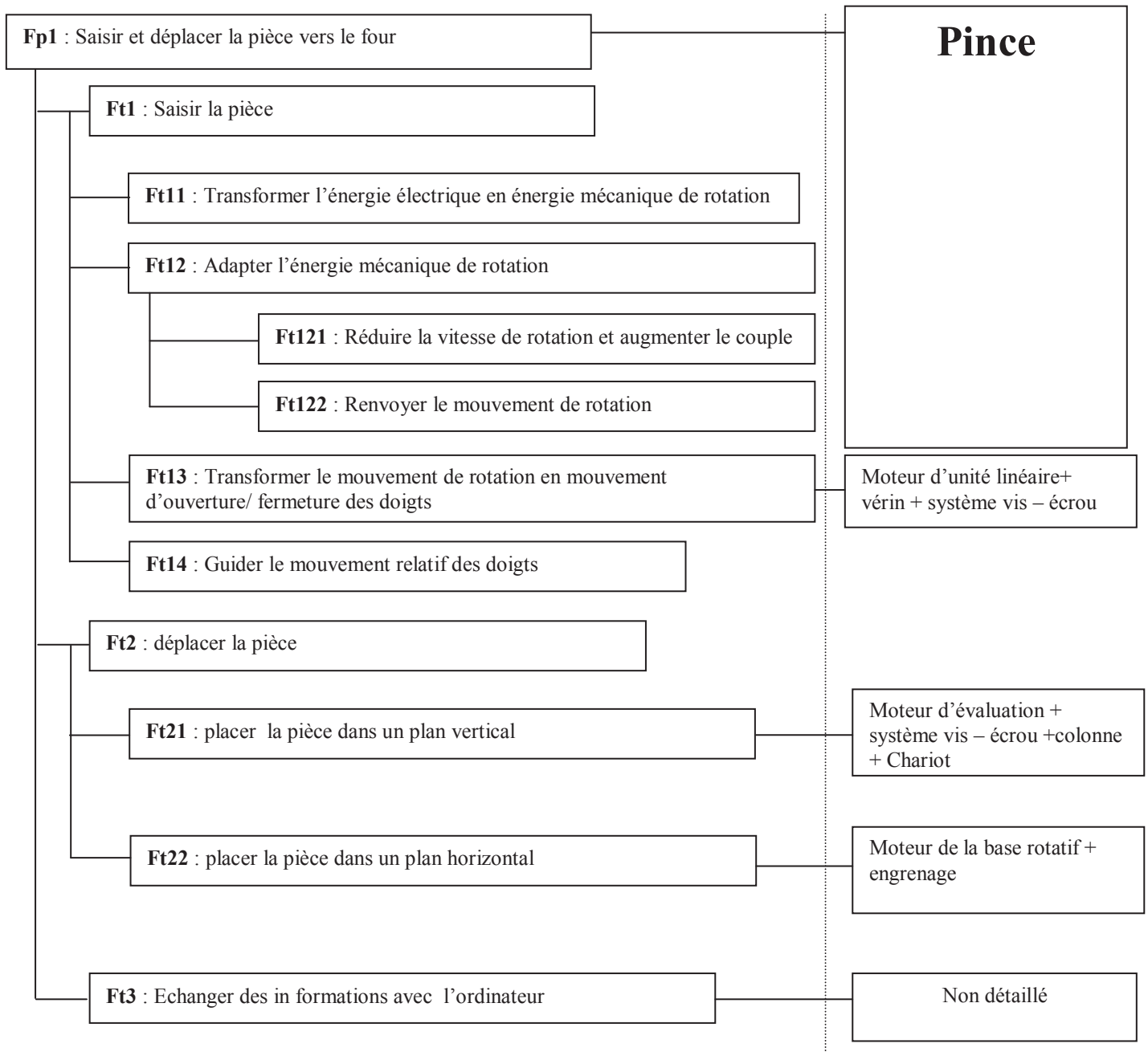
**Fc1** : Être adapté aux caractéristiques et aux conditions du travail (dimensions, température...).

**Fc2** : pouvoir saisir des pièces de masse (2kg – 30kg) de différentes formes.

**Fc3** : facile à implanter et commander.

**III.6. Analyse fonctionnelle interne**

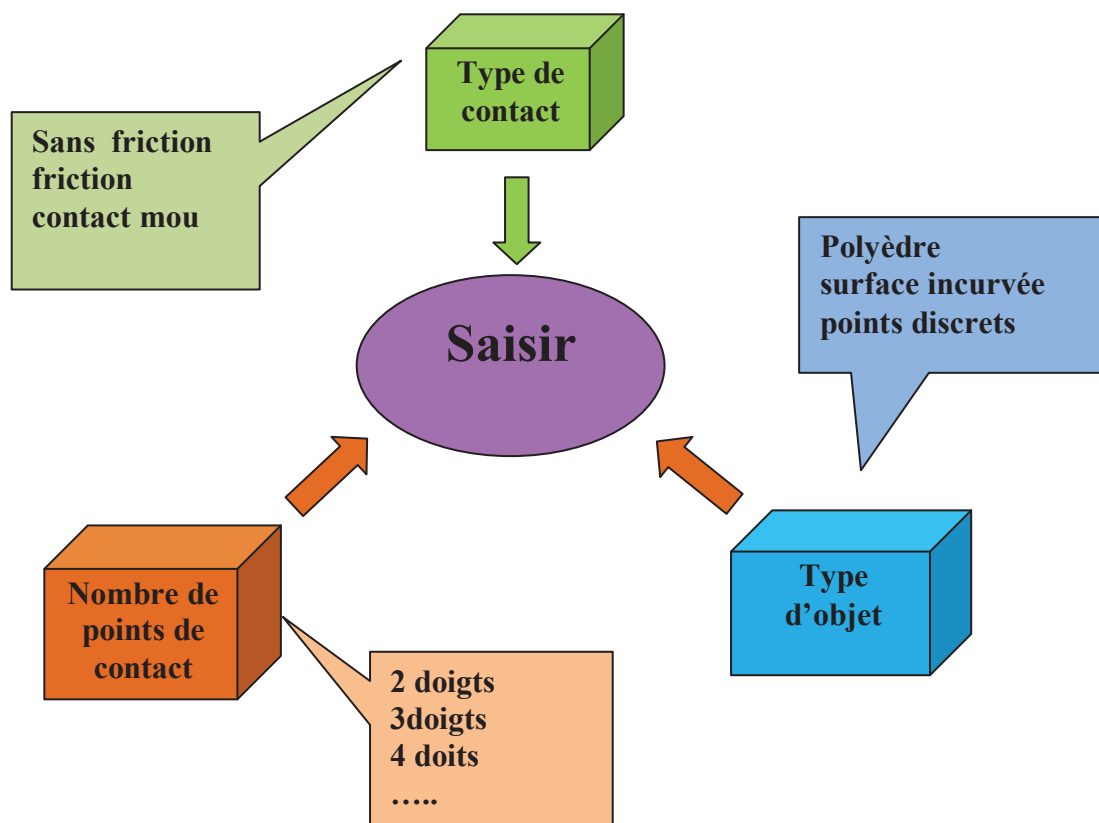
**III.6.1. Diagramme FAST partiel du bras manipulateur :(Function Analysis Système Technique)**



**Figure III.21.** Diagramme FAST partiel du bras manipulateur

### III.7. La Maîtrise d'objets par une pince

Une fonction essentielle des systèmes robotiques est certainement le module de manipulation. La manipulation d'objets avec une pince engendre des contraintes, car cette tâche nécessite fondamentalement une cohérence pince / objet. Le développement d'un modèle mathématique de la saisie doit permettre la prédiction des comportements du préhenseur et de l'objet sous les contraintes impliquées durant la manipulation.

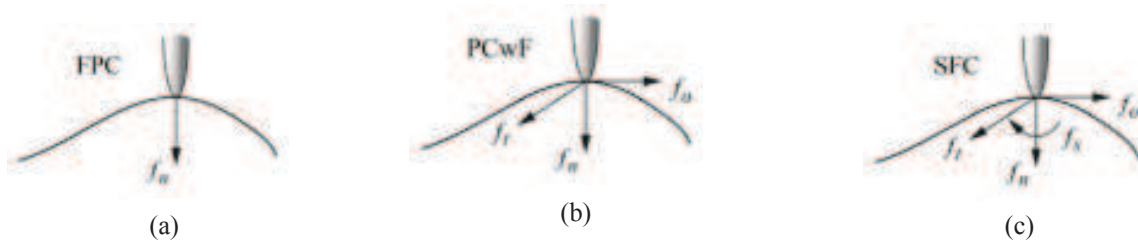


**Figure III.22.** Informations nécessaires pour déterminer une prise

Pour la planification d'une prise, il faut respecter plusieurs contraintes : d'abord, les forces de contact appliquées sur la surface de l'objet doivent résister à toutes les perturbations extérieures. Ensuite, les positions des points de contact doivent être maîtrisées par les doigts de la pince. Troisièmement, une prise doit être générée sans collision entre les différents solides impliqués

### III.7.1. Modèle de contact

La compréhension de la nature du contact est primordiale pour l'analyse des prises. Quand deux objets sont en contact, il est possible que chacun d'eux exerce des forces à travers les régions du contact.



**Figure III.23.** Les trois types de contact

Point de contact sans friction : le doigt ne peut exercer qu'une force normale (figure a).

Point de contact avec frottement : la force exercée par le doigt peut être décomposée en une force normale et deux composantes tangentielles (figure b).

Point de contact mou : la force exercée par le doigt peut être résolue en une force normale, deux composantes tangentielles et un moment autour de la normale de contact (figure b).

### III.7.2 Types de contact

Typiquement, les forces appliquées par les doigts de la pince aux points de contact peuvent agir seulement vers l'objet. Plusieurs modèles mathématiques simples sont utilisés pour la classification des configurations du contact.

Un contact ponctuel sans frottement (figure III.23. (a)) est obtenu quand il n'y a pas de frottement entre le doigt et l'objet. Dans ce cas, les forces exercées sur l'objet sont normales à la surface de contact. Ce modèle est purement théorique, mais il est très utile quand le frottement entre les doigts et l'objet est négligeable. Donc, la modélisation d'un contact sans frottement suppose que nous ne tenons pas compte des forces de frottement durant la manipulation de l'objet. Ce modèle est généralement utilisé pour maintenir des pièces sur les machines (ce n'est pas notre cas).

Plusieurs modèles sont proposés pour tenir compte du frottement lors de la prise. Dans le domaine de la manipulation robotique, on utilise généralement le modèle de contact avec frottement selon la loi de Coulomb. Ce modèle empirique suppose que la force tangentielle obtenue est proportionnelle à la force normale appliquée. La constante de proportionnalité est fonction, entre autres, des matériaux qui sont en contact (figure III.23. (b)). Par conséquent, le

glissement est évité quand  $f^t \leq \mu f^n$  où  $f^n$  est la force normale,  $f^t$  est la force tangentielle et  $\mu > 0$  est le coefficient de frottement statique.

Le coefficient de frottement  $\mu$  est supposé constant. Dans cette application, nous supposons que le modèle de contact avec frottement est le mieux adapté pour l'étude de saisie et de la manipulation. Dans l'espace  $\mathbb{R}^3$ , la contrainte de non-glissement s'écrit comme suit :

$$\sqrt{f_x^2 + f_y^2} \leq \mu f_z, \quad f_z \geq 0, \quad \mathbf{f} = (f_x \ f_y \ f_z)^T \in \mathbb{R}^3$$

Où  $f_x$  et  $f_y$  sont les composantes tangentielles de la force de contact  $\mathbf{f}$ ,  $f_z$  est sa composante normale à la surface de contact.

L'analyse des prises vise l'étude de leur stabilité. L'objectif principal dans ce cas est d'assurer le maintien de la stabilité de la prise face aux perturbations (forces et moments) extérieures inconnues. Typiquement, ces perturbations proviennent des forces d'inertie générées durant la manipulation à haute cadence ou d'autres forces extérieures à savoir la gravité. Le maintien d'une prise implique que les forces de contact appliquées par le préhenseur empêchent la séparation des contacts et les glissements non souhaités. La classe des prises qui peuvent être maintenues face à toute perturbation extérieure est connue sous le nom prise fermée (force-closure).

### III.7.3 Torseur de la prise et axe central

Selon le modèle de frottement de Coulomb, une force de contact est contrainte à se situer à l'intérieur d'un cône de frottement centré autour de la normale interne à la surface de l'objet au point de contact.

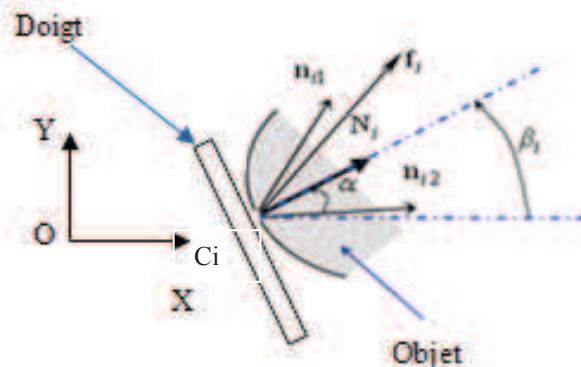


Figure III.24. Cône de frottement et contact entre l'objet et le doigt

La (figure III.24) montre un cône de frottement au point de contact  $C_i$  qui est limité par les vecteurs  $\mathbf{n}_{i1}$  et  $\mathbf{n}_{i2}$ . Une force de contact  $\mathbf{f}_i$  est une combinaison positive de ces deux vecteurs. Dans le cas 2D, elle est exprimée comme suit :

$$\mathbf{f}_i = a_{i1}\mathbf{n}_{i1} + a_{i2}\mathbf{n}_{i2} \quad (1)$$

avec  $i = 1, \dots, m$

$m$  est le nombre de points de contact.

$a_{i1} \geq 0, a_{i2} \geq 0$  dans le cas de non glissement entre les doigts et l'objet.

Si  $N_i$  est la normale à la surface de l'objet au point de contact  $C_i$  et  $\alpha$  est l'angle de frottement qui dépend des matériaux en contact (doigt-objet), nous avons :

$$\beta_i = \text{Atan } 2(N_i Y, N_i X) \quad \text{et} \quad \mathbf{n}_{i1} = \begin{bmatrix} \cos(\beta_i + \alpha) \\ \sin(\beta_i + \alpha) \end{bmatrix}; \quad \mathbf{n}_{i2} = \begin{bmatrix} \cos(\beta_i - \alpha) \\ \sin(\beta_i - \alpha) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Le torseur des forces de contact  $\mathbf{f}_i$  réduit au point O est défini comme suit :

$$\mathbf{w}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{f}_i \\ \text{oc}_i \times \mathbf{f}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{i1}\mathbf{n}_{i1} + a_{i2}\mathbf{n}_{i2} \\ \text{oc}_i \times (a_{i1}\mathbf{n}_{i1} + a_{i2}\mathbf{n}_{i2}) \end{bmatrix} \quad (3)$$

Le torseur extérieur appliqué par la pince sur l'objet est donné par :

$$\mathbf{w}_{c/o} = \sum_{i=1}^m \mathbf{w}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{F}_c \\ \boldsymbol{\tau}_{c/o} \end{bmatrix} \quad \text{Avec} \quad \begin{cases} \mathbf{F}_c = \sum_{i=1}^m \mathbf{f}_i = \sum_{i=1}^m (a_{i1}\mathbf{n}_{i1} + a_{i2}\mathbf{n}_{i2}) \\ \boldsymbol{\tau}_{c/o} = \sum_{i=1}^m (\text{oc}_i \times (a_{i1}\mathbf{n}_{i1} + a_{i2}\mathbf{n}_{i2})) \end{cases} \quad (4)$$

Dans le cas des prises bidimensionnelles, nous pouvons écrire :

$$\mathbf{F}_c = (F_{cx}, F_{cy}, 0)^T \quad \text{et} \quad \boldsymbol{\tau}_{c/o} = (0, 0, \tau_{z/o})^T \quad (5)$$

$$F_{cx} = X \cdot \sum_{i=1}^m (a_{i1}\mathbf{n}_{i1} + a_{i2}\mathbf{n}_{i2}); \quad F_{cy} = Y \cdot \sum_{i=1}^m (a_{i1}\mathbf{n}_{i1} + a_{i2}\mathbf{n}_{i2}); \quad (6)$$

$$\tau_{c/o} = Z \cdot \sum_{i=1}^m (\text{oc}_i \wedge (a_{i1}\mathbf{n}_{i1} + a_{i2}\mathbf{n}_{i2}))$$

Afin de faciliter l'analyse des cas de prise ferme ou non, on doit réduire l'ensemble des efforts en un effort et un couple. Cela, en utilisant le théorème de Poinot [70].

Un ensemble de torseurs appliqués sur un corps rigide est équivalent à une force appliquée le long d'un axe fixe (axe central) et d'un couple autour du même axe.

Les points de l'axe central  $\Delta_C$  du torseur de contact sont donnés par :

$$\Delta_c = \begin{cases} \frac{\mathbf{F}_c \times \boldsymbol{\tau}_{c/o}}{F_c^2} + \lambda \mathbf{F}_c & \text{si } \mathbf{F}_c \neq \mathbf{0} \\ \lambda \boldsymbol{\tau}_{c/o} & \text{si } \mathbf{F}_c = \mathbf{0} \end{cases} \quad (7)$$

$\lambda$  est un scalaire

Si  $\mathbf{F}_c \neq \mathbf{0}$ , l'axe central est une droite de direction  $\mathbf{F}_c$ , passant par le point  $Q_0$

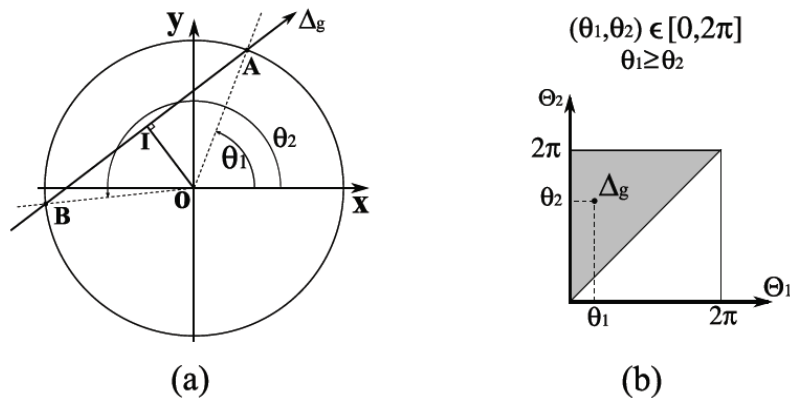
avec

$$Q_0 = (\mathbf{F}_c \times \boldsymbol{\tau}_{c/o}) / F_c^2.$$

Si  $\mathbf{F}_c = \mathbf{0}$ , l'axe est orienté selon la direction de  $\boldsymbol{\tau}_{c/o}$  et passe par l'origine.

Dans le cas bidimensionnel et avec une résultante non nulle ( $\mathbf{F}_c \neq \mathbf{0}$ ), le couple autour de l'axe central est nul. La résultante  $\mathbf{F}_c$  est invariable et parallèle à  $\Delta_C$ . La droite centrale est donc caractérisée par l'équation suivante :

$$y = \left( \frac{F_{cy}}{F_{cx}} \right) \cdot x + \left( \frac{\tau_{z/o}}{F_{cx}} \right) \quad (8)$$



**Figure III.25.** (a) Paramètres  $\theta_1$  et  $\theta_2$  pour une droite  $\Delta_g$  du plan. (b) Représentation des droites dans le plan  $\theta_1, \theta_2$ .

### III.8. Stabilité des prises

Pour la stabilité de l'objet entre les doigts de la pince, il faut vérifier :

**L'équilibre** : une prise est en équilibre quand la résultante, des forces et des moments, appliqués sur la pièce (par les doigts et les perturbations externes) est nulle. Un problème associé est l'optimisation des forces des doigts sur la pièce afin de maintenir la stabilité de la prise sans endommager la pièce.

**La résistance aux perturbations** : une prise peut résister aux perturbations dans n'importe quelle direction si elle remplit une des conditions suivantes : *form-closure* (figure III.26(a)) (fermeture géométrique) quand les positions des points de contact garantissent l'immobilité de l'objet, ou *force-closure* (figure.III.26 (b)) (fermeture de force) quand les forces appliquées à travers les points de contact assurent l'immobilité de l'objet [71].



**Figure III.26.** Types de Prise

**Condition de stabilité** : une prise est stable, si n'importe quelle erreur de position de l'objet, ou de la force d'un doigt, provoquée par une perturbation disparaît rapidement après la disparition de la perturbation. Ainsi, la prise devrait produire des forces de restitution quand elle est éloignée de l'équilibre.

#### III.8.1. Force-closure

Une planification de prise appropriée est nécessaire pour la saisie et la manipulation des objets. Un planificateur de prise calcule les positions des doigts sur la surface de l'objet pour satisfaire une des propriétés élémentaires de la prise. En générale, les prises sont calculées pour assurer l'immobilité de la pièce face à des perturbations externes satisfaire une des propriétés suivantes :



-**Form-closure** : quand la tâche nécessite une prise robuste qui ne dépend pas du frottement. Par exemple, la fixation des pièces pour l'usinage ou le contrôle ;

-**Force-closure** : est plus spécialement utilisée pour la saisie et la manipulation des objets avec un nombre réduit de contacts. C'est le cas des pinces ou des mains mécaniques. C'est le cas de notre pince.

### III.8.2. Conditions d'équilibre et de force-closure

Durant la saisie ou la manipulation d'objets, il existe deux torseurs extérieurs qui s'appliquent sur l'objet, le torseur de la tâche (appliqué par l'environnement) et le torseur de la prise (appliqué par les mors de la pince). Une prise bidimensionnelle est dite en équilibre si et seulement si l'axe central de la prise et l'axe central de la tâche ont le même support et de directions opposées.

### III.9. Application aux pièces de forme cylindrique

Les pièces traitées par le four ont une forme cylindrique, de diamètres différents. Le choix de la pince angulaire, puisqu'elle est plus flexible que les pinces parallèles. L'utilisation des pinces parallèle est restreinte, (figure.III.27)



Figure III.27. Différence entre les pinces parallèle et angulaire

#### III.9.1. La pince angulaire

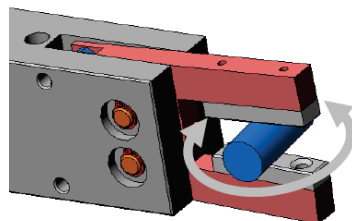
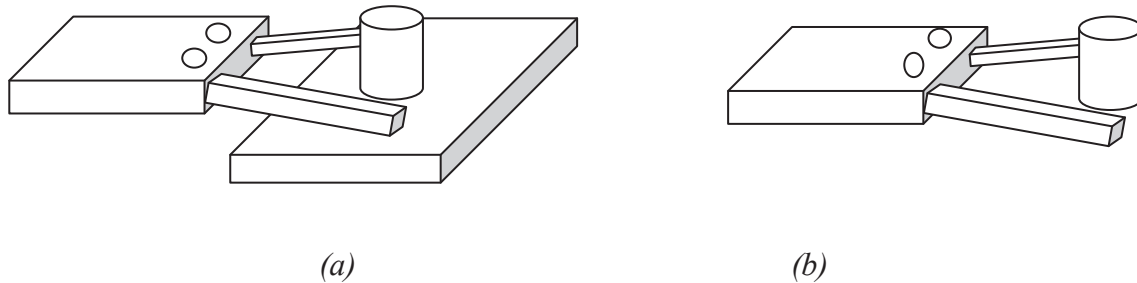


Figure III.28. L'inconvénient des pinces angulaires

- Lorsque l'on fait saisir à la pince des pièces de forme cylindrique, celles-ci, à partir d'un certain diamètre, glissent entre les doigts.
- Les pièces saisies ne sont pas maintenues fermement.



**Figure III.29.** Maitrise des pièces dans le plan et dans l'espace

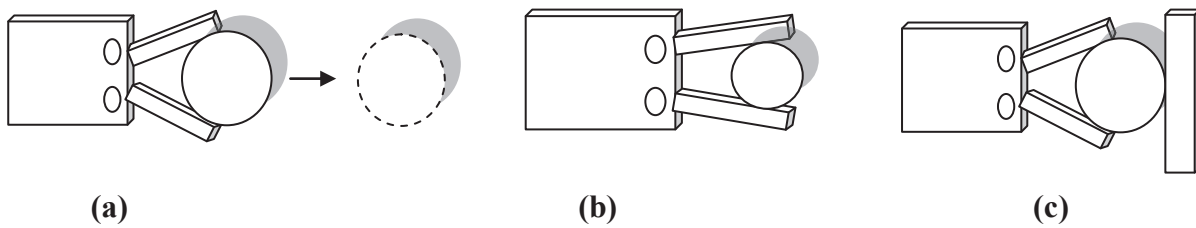
Le problème de saisie d'objets sans friction représente souvent le cas le plus défavorable de saisie. En effet, il est souvent avantageux d'avoir le coefficient de friction le plus élevé possible entre la pince et l'objet pour éviter de l'échapper. Si la friction n'est pas considérée, quatre points de contact sont nécessaires pour une saisie stable dans le plan et plus de quatre points de contact sont nécessaires pour une saisie stable dans l'espace.

Pour la saisie, on distingue trois étapes: l'approche, le contact et le serrage. L'étape d'approche n'est pas d'un grand intérêt puisqu'elle n'est que le mouvement du mécanisme vers l'objet. Les doigts de la pince sont alors en position complètement ouverte.

La période de contact s'applique par la surface des doigts sur la surface de l'objet (pour notre cas, le contact se fait entre la surface des doigts et la pièce cylindrique). Aussitôt que les doigts touchent l'objet, l'étape de contact est terminée et l'étape de serrage commence.

#### ***-L'étape de contact***

Si on néglige le frottement et qu'on suppose que le saisie sur le plan, la configuration montrée à la (figure III.30. (a)) représente possibilité d'éjection de l'objet. En effet l'objet aura tendance à s'éloigner lorsqu'une force est appliquée sur celui-ci; le diamètre de la pièce dépasse l'ouverture maximale de la pince.



**Figure III.30.** Configuration pertinente à l'étape de contact

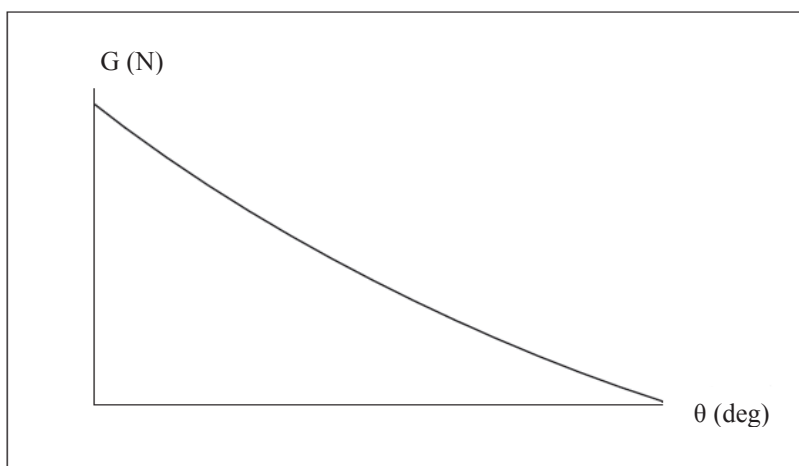
La configuration de la (figure III.30. (b)) représente un cas de saisie plus réaliste à cause du décalage des points de contacts vers le milieu des doigts de la pince.

Évidemment si on suppose que l'objet est fixé à un support ou qu'une surface l'empêche de s'éloigner de la pince, alors la saisie illustrée à la (figure III.30(a)) peut être effectuée (figure III.30(c)).

La maîtrise de l'objet dépend des dimensions des objets à saisir mais aussi de la longueur et le nombre de doigts, et leur disposition, des configurations extrêmes des doigts (positions ouverte et fermée).

Durant l'étape de contact on voudra minimiser la valeur de force proximale afin de réduire les risques d'éjection de l'objet.

Un graphe général de l'effort proximal en fonction de la fermeture des doigts est présenté sur la (figure III.31).



**Figure III.31.** Graphe générale de la force proximale en fonction de l'orientation des doigts de la pince

On doit lire le graphe de droite à gauche. En effet l'extrême droite de la courbe représente le contact initial des doigts avec l'objet pour une valeur quelconque( $\theta$ ). Les doigts de la pince

sont alors en butées (la valeur de  $\theta$  est maximale). En se déplaçant vers la gauche du graphique la valeur de  $\theta$  diminue (les doigts sont en mouvement vers l'objet) et la valeur de la force proximale augmente.

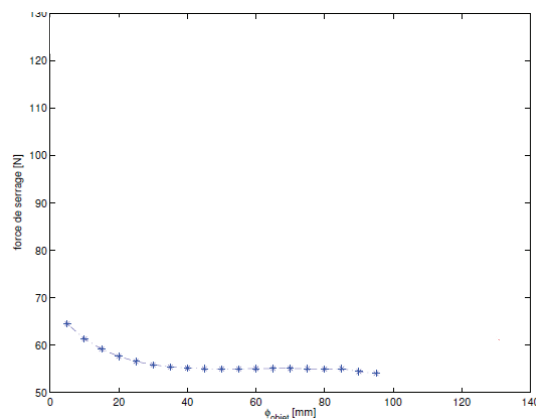
Le critère important pour éviter l'éjection de l'objet est donc la minimisation de la valeur de  $G(N)$  pour toute la durée de la période de contact entre les doigts de la pince et l'objet.

### -L'étape de serrage

La tâche essentielle de la pince est de maintenir une pièce de façon fiable dans un temps donné. La force de préhension nécessaire constitue donc un critère essentiel pour le choix de la bonne taille et du bon modèle de pince. En effet, ces forces définissent la relation entre les doigts de la pince et l'objet à saisir.

### Grosueur de l'objet à saisir

La courbe de (figure III.32) Représente la relation entre la grosueur de l'objet et la force de serrage générée. La courbe possède une pente assez faible. Donc, il ne semble pas y avoir de lien évident entre la grosueur de l'objet et la force de serrage générée.



**Figure III.32.** Effet du diamètre du cylindre sur la force de serrage

Dans le cas où le diamètre de la pièce est inférieur à l'ouverture de la pince, nous avons  $F_1 = F_2$  ce qui signifie que la pièce est en équilibre.

Par contre si on prend des pièces avec des diamètres plus grands, on se trouve en face d'un problème de maîtrise de pièce (risque d'éjection de la pièce).

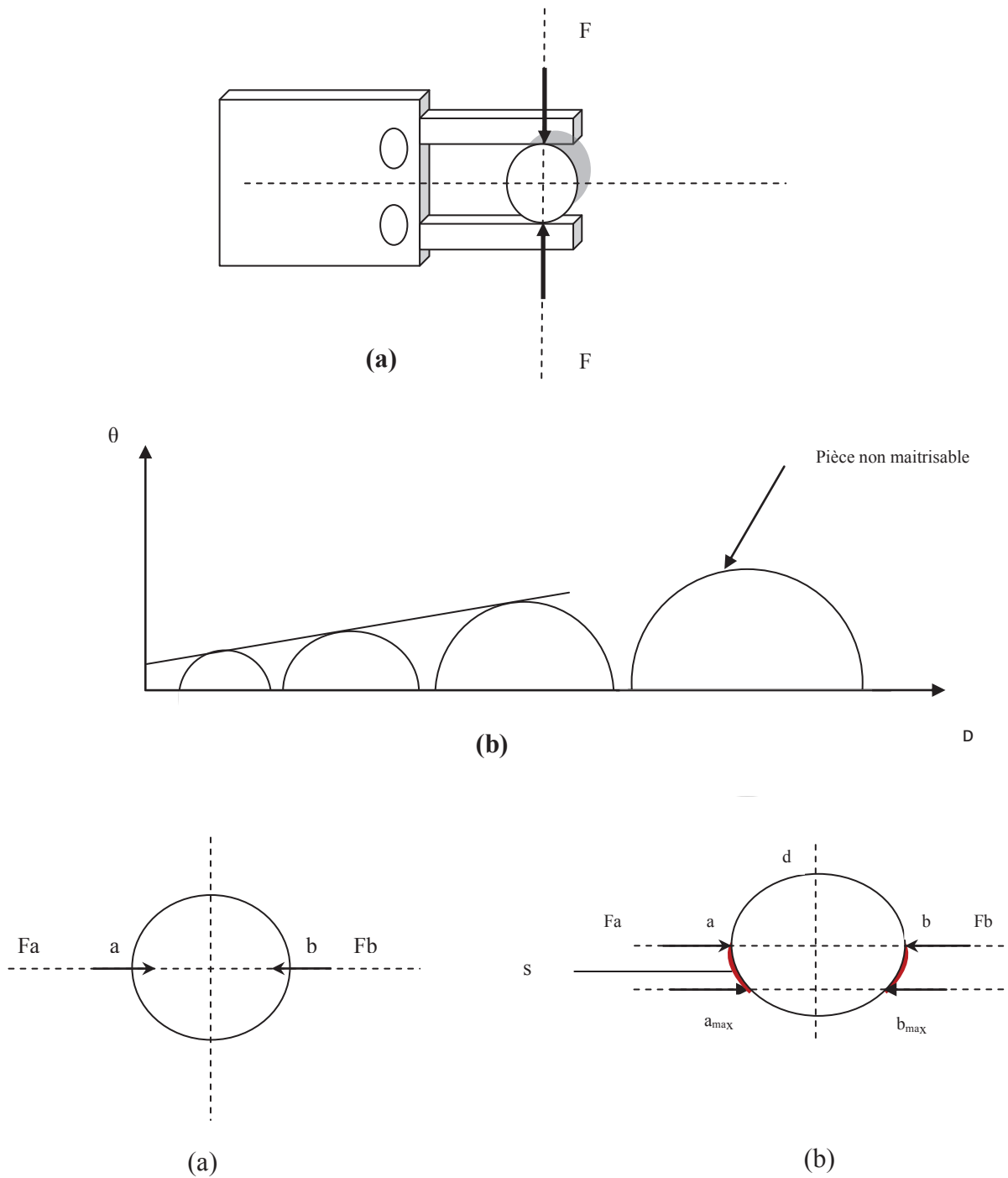


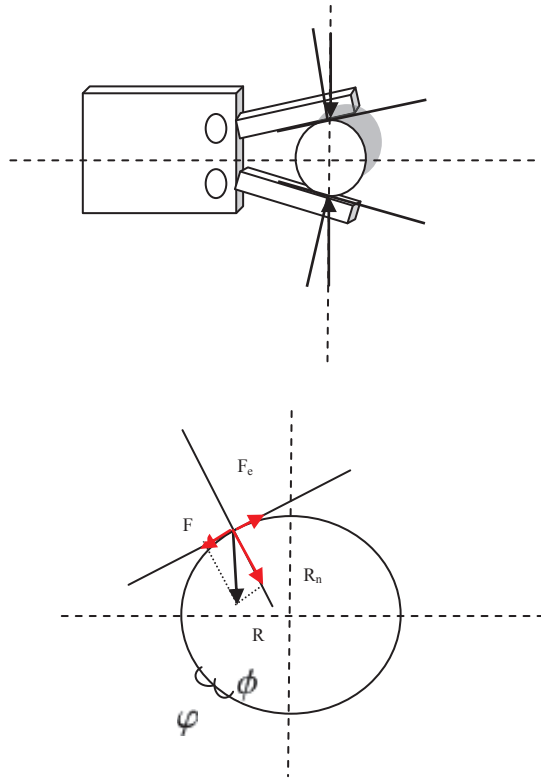
Figure III.33. Maitrise des pièces en fonction du diamètre

**Effet du frottement**

La force de frottement solide dépend de l'action subie par le solide

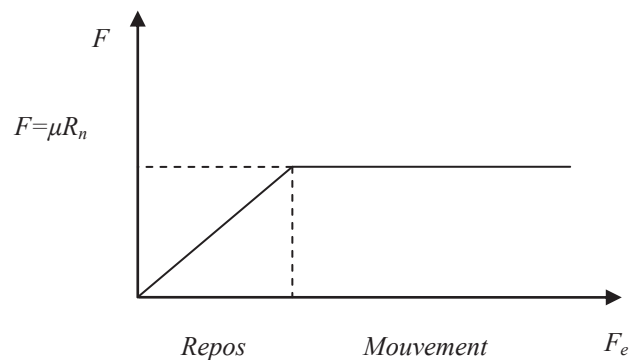
$$F = \mu R_n$$

$$\frac{F}{R_n} = \mu = \tan \phi$$



**Figure III.34.** Force de la pince sur la pièce

Si aucune action extérieure ne tend à déplacer un solide, celui-ci est au repos et la force de frottement n'existe pas. Elle ne prend naissance que si le solide subit une action. Son intensité varie alors linéairement en fonction de cette action jusqu'à devenir constante par l'intermédiaire du coefficient  $\mu$  dès que le solide se met en mouvement. La force de frottement est alors maximale et ne peut plus empêcher le mouvement.



**Figure III.35.** Évolution de la force de frottement en fonction de la force  $F_e$  agissant sur le système.

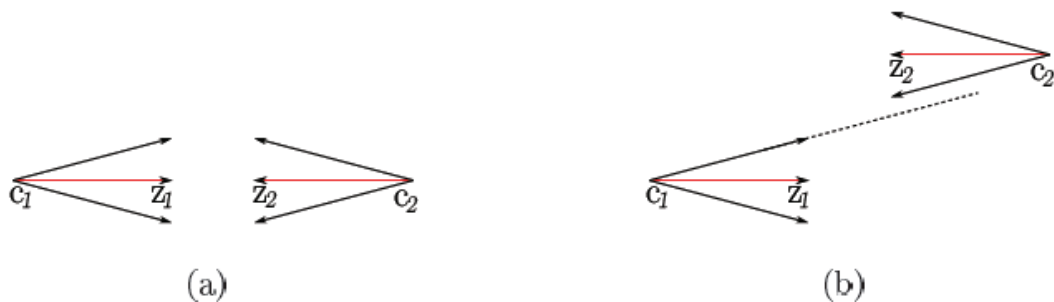
La condition d'équilibre (figure III.31) impose  $F_e = F$ . On peut donc écrire :

$$\tan \varphi = \frac{F}{R_n}$$

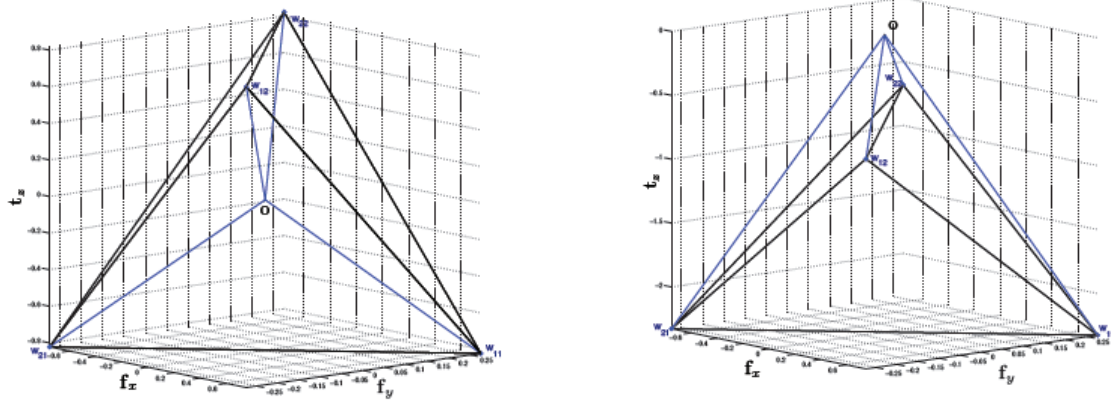
Solide en équilibre	$F = F_e < \mu R_n$	$F/R_n = \tan \varphi < \tan \phi = \mu$
Solide en mouvement	$F = \mu R_n < F_e$	$F/R_n = \tan \varphi = \mu$

### III.10. Explication graphique de force-closure

Graphiquement, la caractéristique *force-closure* peut être visualisée dans le cas des prises planes dont l'espace des torseurs de prise est de dimension 3. La figure.III.36.(a) représente une prise à deux points de contacts. Les torseurs primitifs de contact sont représentés dans le repère  $(\mathbf{o}, \mathbf{f}_x, \mathbf{f}_y, \mathbf{t}_z)$  de la (figure.III.37(a)) qui représente l'espace des torseurs de prise 2D. Dans le cas de cette prise, l'origine  $\mathbf{o}$  de l'espace des torseurs est strictement à l'intérieur de l'enveloppe convexe des torseurs primitifs de contact et donc la prise vérifie la propriété *force-closure*. Par contre, sur la (figure III.36.(b)), la prise à deux points de contact n'est pas en force-closure ce qui peut se voir sur la (figure.III.37.(b)) où l'origine  $\mathbf{o}$  n'appartient pas à l'intérieur de l'enveloppe convexe des torseurs primitifs de contact.



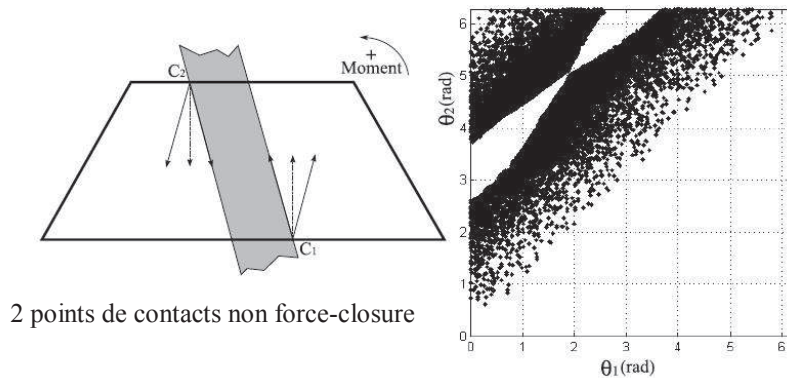
**Figure III.36.** Prises planes à 2 points de contact. a) force-closure. b) non force-closure.



(a) Prise force-closure

(b) Prise non force-closure

**Figure III.37.** Représentation de l'espace des torseurs associés aux prises de la (figure III.36)



2 points de contacts non force-closure

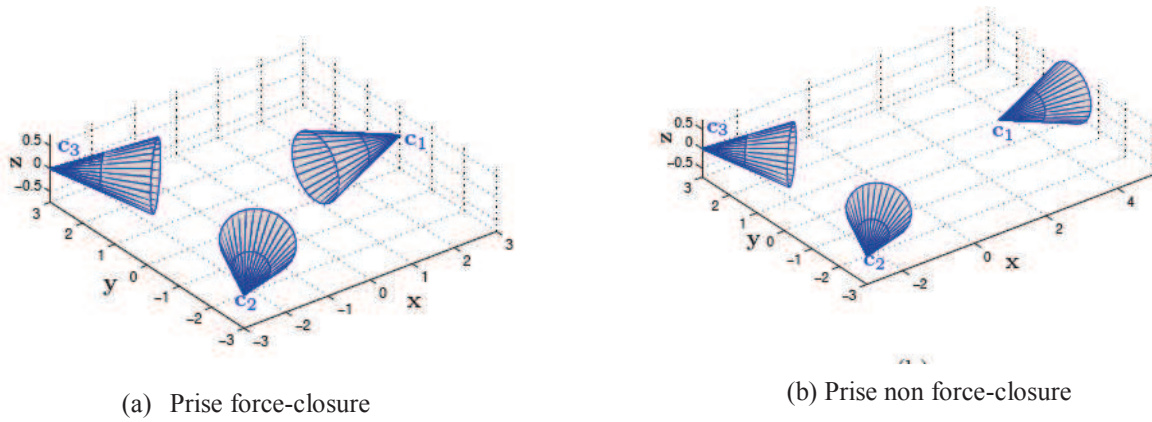
**Figure III.38.** Position des axes centraux dans le plan

### III.11 Cas de trois points de contacts

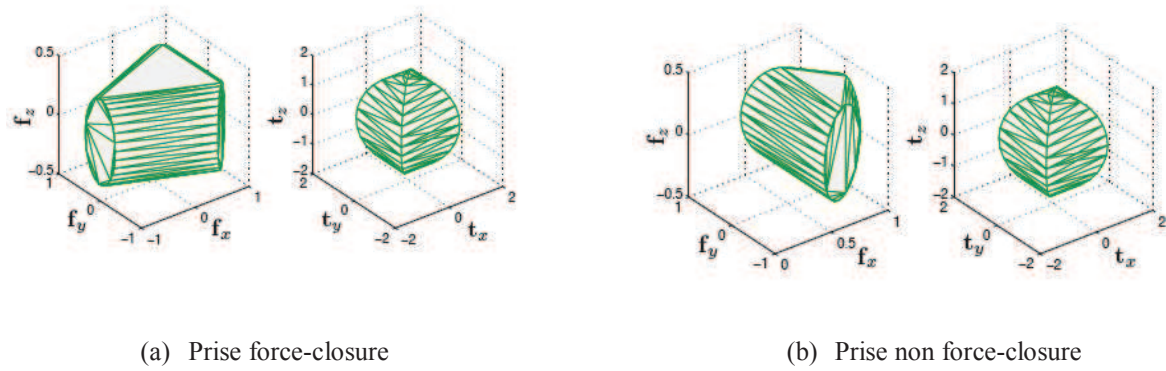
Dans cette étape, nous disposons de trois points de contact et nous nous intéressons à l'identification de positionnement de ces points de contacts sur la pièce garantissant sa stabilité. Dans le cas des prises spatiales, l'espace des torseurs est de dimension six  $\{f_x, f_y, f_z, t_x, t_y, t_z\}$ . La visualisation n'est possible qu'à travers la projection de trois composantes. Sur la (figure III.39), deux prises à trois points de contact sont présentées. Pour la première prise (figure III.39.(a)), les trois cônes de frottement réalisent une prise force-closure. Pour cette prise des projections des torseurs primitifs de contact dans l'espace des forces et dans l'espace des moments sont représentées sur la (figure III.40.(a)). La prise de la (figure III.39.(b)) ne réalise pas une force-closure, on peut facilement remarquer que les forces aux points de contact ne peuvent pas résister à des forces extérieures exercées selon l'axe +X. cette dernière remarque



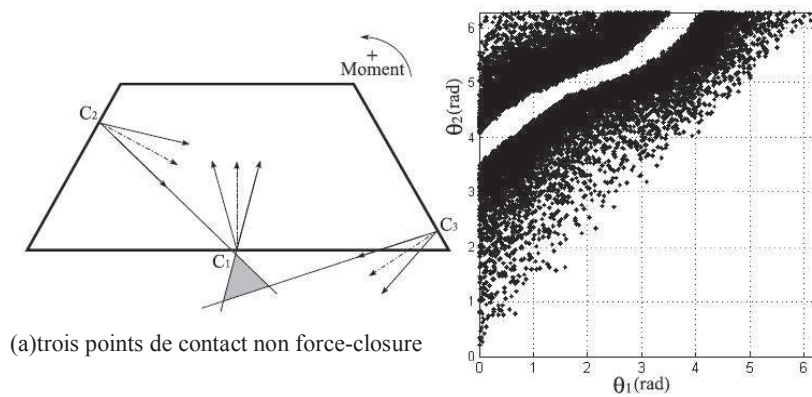
apparaît aussi dans la projection des torseurs primitifs de contact dans l'espace des forces ( $\mathbf{o}$ ,  $\mathbf{f}_x$ ,  $\mathbf{f}_y$ ,  $\mathbf{t}_z$ ) (figure III.40(b))

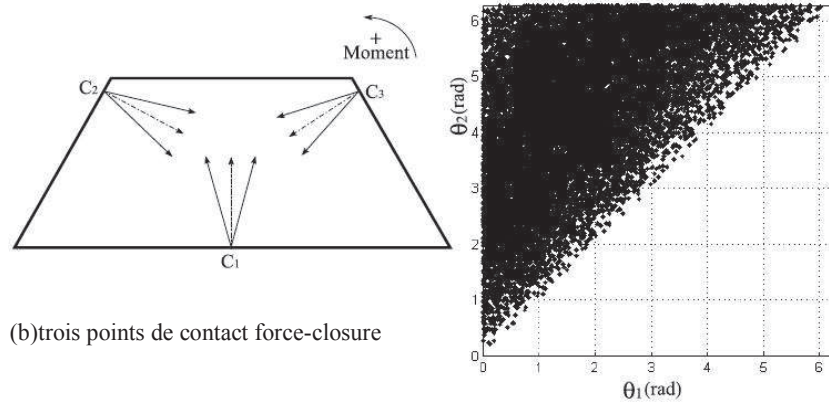


**Figure III.39.** Prise spatiales à 3contacts : a) force-closure, b) non force-closure



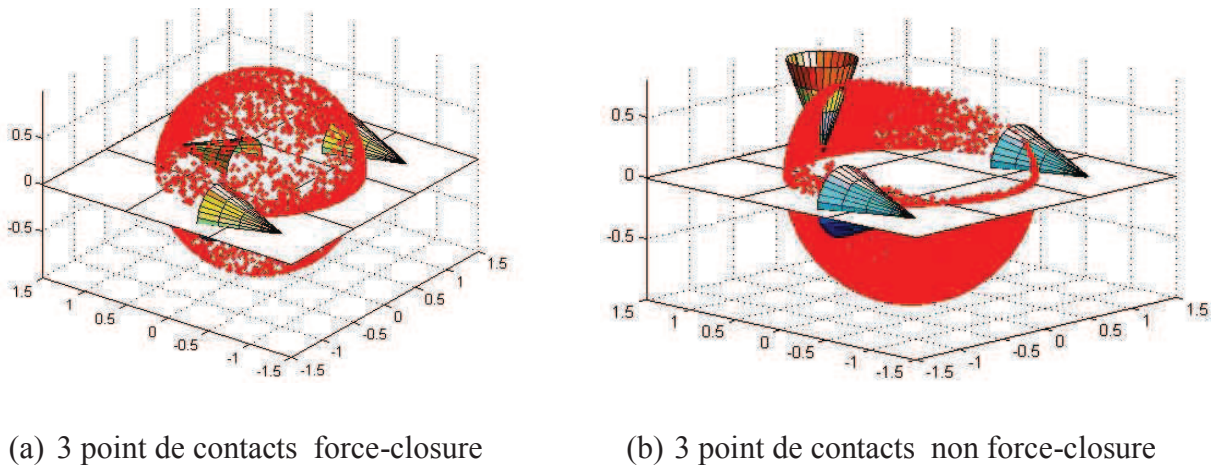
**Figure III.40.** Représentation de l'espace torseur pour les prises de la (figure III.39)





(b)trois points de contact force-closure

Figure III.41. Position des axes centraux dans le plan



(a) 3 point de contacts force-closure

(b) 3 point de contacts non force-closure

Figure III.42. Position des axes centraux dans l'espace (les axes centraux sont représentés par leur intersection avec une sphère de rayon donné).

### III.12 Algorithmes de vérification de la fermeture en force

Considérons une prise définie par  $m$  point de contact  $c_i$ , avec  $1 \leq i \leq m$ .

Considérons le point de contact  $c_i$  où nous définissons les  $m$  efforts

$f_{ij} = a_{ij}v_{ij}$ . : le modèle de frottement de Coulomb.

Chaque effort unitaire  $v_{ij}$  crée un moment  $\tau_{ij} = (c_i - c_1) \wedge v_{ij}$  au point  $c_1$  choisi arbitrairement.

On doit vérifier que le point  $c_1$  est strictement à l'intérieur de l'enveloppe convexe  $H(\tau_{ij})$  des  $\tau_{ij}$ :

$c_1 \in H(\tau_{ij})$ .

### III.13. Conclusion

Cette partie est une étude préliminaire du projet d'automatisation des opérations de chargement/déchargement des pièces du four de traitement thermique de L'ENMTP. Les pièces traitées sont en acier de poids allant jusqu'à 30kg. L'étude ne prend pas en compte la partie contrôle.

L'ENMTP veut réaliser les parties mécaniques de l'automate au niveau de son atelier. Elle cherche une solution simple, utilisant des moyens locaux.

On a bordé le problème par l'étude des tâches effectuées dans l'opération de traitement thermique. L'espace de travail du bras est calculé à partir des quatre points (table 1-four –matrice de refroidissement-table 2). Un porteur de type RPP permet un balayage de cet espace. La base du robot est menée d'un déplacement linéaire à vitesse constante entre le four et la matrice de refroidissement. Cette solution, nous permet de réduire la longueur du bras et donc le moment de flexion dû au poids de la pièce.

A la sortie du four, la température de la pièce en acier est de 840°C. Le module de Young de l'acier à cette température diminue de 80%. La force de serrage appliquée par la pince doit être inférieure à la force limite de l'acier à 840°C. Des essais sous cette température, permettront de déterminer cette limite.

Le deuxième point étudié concerne l'organe terminal du bras. L'entreprise effectue l'opération de traitement par lot de pièces de même forme. Un lot par jour. Les pièces sont de forme cylindrique. La pince, à mors à déplacement angulaire, permet de s'adapter à différents diamètres.

L'étude de la maîtrise de la pièce entre les mors a une grande importance dans l'opération de chargement/déchargement. Deux paramètres définissent la prise : l'encombrement (points de contact) de la pièce et le frottement dans les zones de contact (matériaux pièce/mors). Fermeture géométrique (form closure) et fermeture en force (force closure). Quand la tâche nécessite une prise robuste qui ne dépend pas du frottement, la stabilité de la prise dépend du choix des points de contact. Pour les cas avec un nombre réduit de contacts, la stabilité est réalisée en force closure.

La fermeture en force est un problème d'optimisation qui combine entre les positions des points d'application des forces de frottement et leurs orientations dans les cônes de frottement. La programmation de ce problème sur Matlab constitue une partie de ce mémoire. La démarche consiste à la recherche des axes centraux et donc un système de force et de moment réduits.

---

---

## **CONCLUSION GENERALE**

---

---

## CONCLUSION GENERALE

Ce mémoire est une étude préliminaire du projet d'automatisation des opérations de chargement/déchargement des pièces du four de traitement thermique de L'ENMTP. Les pièces traitées sont en acier de poids allant jusqu'à 30kg. L'étude ne prend pas en compte la partie contrôle.

L'ENMTP veut réaliser les parties mécaniques de l'automate au niveau de son atelier. Elle cherche une solution simple, utilisant des moyens locaux.

On a abordé le problème par l'étude des tâches effectuées dans l'opération de traitement thermique. L'espace de travail du bras est calculé à partir des quatre points (table 1-four –matrice de refroidissement-table 2). Un porteur de type RPP permet un balayage de cet espace. La base du robot est menée d'un déplacement linéaire à vitesse constante entre le four et la matrice de refroidissement. Cette solution, nous permet de réduire la longueur du bras et donc le moment de flexion dû au poids de la pièce.

A la sortie du four, la température de la pièce en acier est de 840°C. Le module de Young de l'acier à cette température diminue de 80%. La force de serrage appliquée par la pince doit être inférieure à la force limite de l'acier à 840°C. Des essais sous cette température, permettront de déterminer cette limite.

Le deuxième point étudié concerne l'organe terminal du bras. L'entreprise effectue l'opération de traitement par lot de pièces de même forme. Un lot par jour. Les pièces sont de forme cylindrique. La pince, à mors à déplacement angulaire, permet de s'adapter à différents diamètres.

L'étude de la maîtrise de la pièce entre les mors a une grande importance dans l'opération de chargement/déchargement. Deux paramètres définissent la prise : l'encombrement (points de contact) de la pièce et le frottement dans les zones de contact (matériaux pièce/mors). Fermeture géométrique (form closure) et fermeture en force (force closure). Quand la tâche nécessite une prise robuste qui ne dépend pas du frottement, la stabilité de la prise dépend du choix des points de contact. Pour les cas avec un nombre réduit de contacts, la stabilité est réalisée en force closure.

La fermeture en force est un problème d'optimisation qui combine entre les positions des points d'application des forces de frottement et leurs orientations dans les cônes de frottement. La programmation de ce problème sur Matlab constitue une partie de ce mémoire. La démarche consiste à la recherche des axes centraux et donc un système de force et de moment réduits.

## **Perspectives**

L'étude de la partie contrôle du bras manipulateur n'est pas prise en compte. Le facteur température est un paramètre important. L'étude de la transmission entre les actionneurs et les liaisons complète cette étude.

---

---

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

---

---

# Références bibliographie

- [01] ASHOK SAPRA, ISHAN GUPTA, VIPIN KUMAR, ANUJ KHARE, TARUN WIG, and MONIKA CHAWLA «*Robotics appin knowledge solutions* »: infinity science press LLC Hingham, Massachusetts New Delhi 2007
- [02] COIFFET PPHILIPPE «*La robotique : principes et applications*»: Edition ERMES(1986)
- [03] DAVID R. SHIRCLIFF «*builds a remote controlled robot* »: McGraw-Hill companies(2002)
- [04] J. NORBERTO PIRES «*industrial robots programming*»: building applications for the factories of the future: Mechanical Engineering Department University of Coimbra, Portugal: 2007 Springer Science+Business Media, LLC
- [05] KIN-HUAT LOW «*Industrial Robotics Programming, Simulation and Applications*»: pIV pro literatur Verlag Robert Mayer-Scholz / Mammendorf Germany (2007)
- [06] PRIEL MARC «*les robots industriels: caractéristiques, performances et choix* »: Edition AFNOR (1990)
- [07] JOHN IOVINE «*Robots, Androids, and Animatrons*»: Second Edition/ 2002, McGraw-Hill Companies
- [08] KOREN YORAM «*La robotique pour ingénieurs* »: Edition McGRAW-HILL (1986)
- [09] BEN-ZION SANDIER «*ROBOTICS :Designing the Mechanisms for Automated Machinery* »: Second Edition , The Hy Greenhill Chair in Creative Machine and Product Design, Ben-Gurion University of the Negev, Beersheva, Israel/ academic press 1999
- [10] ANDRE PREUMONT «*Théorie Générale des Systèmes Articulés : Introduction `a la Robotique* » 2<sup>iem</sup> Edition - Laboratoire des Structures Actives Service des Constructions Mécaniques et Robotique 2001
- [11] ABDELKADER OURGHI & ALI ABERKANE «*Modélisation et commande par pc du robot AID* » spécialité Génie Electrique, école militaire polytechnique 1998
- [12] GIORDANO MAX & LOTTIN JACQUES «*cours de robotique: description et fonctionnement des robots industriels*»: Edition ARMAND COLIN (1990).
- [13] PIERRE DUYSINX «*éléments de robotique aspects mécaniques* » Département PROMETHE, (Productique, Mécanique et Thermodynamique



- [14] P.FISETTE, H. BUYSE, J.C. SAMIN « *Introduction à la robotique* » : 2004
- [15] G.LACROUX « *les actionneurs électriques pour la robotique et les asservissements* » technique et documentation, édition Lavoisier, édition 1985
- [16] M.GUILLON « *l'asservissement hydraulique et électrohydraulique* », tomes 1 et 2, Dunod édition 1972
- [17] P.COIFFET, M. CHIROUZE « *Eléments de robotique* » : édition Hermes Paris 1981.
- [18] K.FUGIMOTO, S.TADOKORO, T.TAKAMORI « *development of a 6-D.O.F direct-drive wrist joint by pneumatic linear actuator drive* » 16<sup>th</sup> annual conference of IEEE industrial electronics society, IECON 90, pacific grove California
- [19] ASIMOV, ISAAC « *Les robots* » Chapitre « Cycle fermé », 1950, p. 67.
- [20] JEAN-LOUIS BOIMOND « *Robotique* » ISTIA, Université Angers
- [21] FERNAND ESTEVES « *Robots : construction / programmation* » SYBEX paris
- [22] H. BUNKE & P. S. P. WANG « *fundamentals of robotics: linking perception to action* » Ming Xie Singapore-MIT / Technological University, /World Scientific Publishing 2003
- [23] P.ANDRE, J.M.KAUFFMAN, F.LHOTTE, J.P TAILLARD « *les robots : constituants technologiques* », tome 4, édition Hermes France 1983.
- [24] PAUL E. SANDIN « *Robot Mechanisms and Mechanical Devices Illustrated* », MC Graw-Hill Companies 2003
- [25] JEAN VERTUT & PHILIPPE COIFFET « *Les robots : téléopération, évolution des technologies* » tome 3A Hermes Publishing FRANCE
- [26] « *vérin pneumatique données techniques* » ISI initiation aux sciences de l'ingénieur LJF
- [27] A.COLIN « *Bras de manipulateur et robots* », encyclopédie techniques de l'ingénieur, A943
- [28] J.FAISANDIER « *Mécanismes hydraulique et électrohydrauliques* » édition Dunod, 1970
- [29] B. GORLA, M. RENAUD « *modèles des robots manipulateur. Application à leur commande* » : Cepadues. Edition 1984
- [30] P. LOPEZ « *commande des systèmes robotique* » : édition tests 1986

- [31] MICHEL PASQUIER « *planification de trajectoires pour un robot manipulateur* » thèse  
Présentée pour obtenir le titre de docteur, l'institut national polytechnique de  
Grenoble.1989
- [32] P.MUIR « *digital servocontroller design forbrushless DC motors* »: the robotics Institute,  
Carnegie-Mellon University.
- [33] BOUMEDIENE BOUANANE « *étude, réalisation et commande d'un actionneur  
electrohydraulique de puissance* »: thèse présentée au laboratoire d'automatique et  
d'analyse des systèmes du
- [34] P.FOUILLE « *machine continues, électriques d'asservissement* »: Ecole supérieure  
d'électricité, 1980
- [35] E.L. DECKER «*Robot Classification*»: Georgia CTAE Resource Network Curriculum  
Office July 2009
- [36] T. ALANI« *introduction à la robotique* »: Définitions et terminologies / Laboratoire A<sup>2</sup>SI-  
ESIEE-Paris
- [37] IGNACIO HERRERA AGUILAR « *Commande des bras manipulateurs et retour visuel  
pour des applications `a la robotique de service* » : thèse présentée et soutenue  
publiquement 2007 pour l'obtention du Doctorat de l'Université Toulouse III (spécialité  
robotique)
- [38] MARK W. SPONG, SETH HUTCHINSON, and M. VIDYASAGAR « *Robot Modeling  
and Control*» first edition
- [39] LORENZO FLÜCKIGER « *interface pour le pilotage et l'analyse des robots basée sur un  
générateur de cinématiques* » thèse présentée au département de microtechnique (1998),  
pour l'obtention du grade de docteur ès sciences techniques, école polytechnique fédérale  
de Lausanne
- [40] ILIAN BONEV « *Robots industriels* » Laboratoire de Commande et de Robotique :  
Canada
- [41] JEAN-FRANÇOIS QUINET « *Évaluation des performances des robots industriels* »  
Techniques de l'Ingénieur
- [42] J. P. LALLEMAND & S. ZEGHLOUL « *robotique : aspects fondamentaux : modélisation  
mécanique ; CAO robotique ; commande* » université de Poitiers, CNRS (laboratoire de  
mécanique des solides) 1994
- [42] ROBIN R. MURPHY « *Introduction to AI Robotics*» The MIT Press / Massachusetts  
Institute of Technology 2000

- [43] AKLI ISMA « *Elaboration d'une stratégie de coordination de mouvements pour un manipulateur mobile redondant* » Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de MAGISTER EN : ELECTRONIQUE Spécialité : Contrôle de Processus et Robotique 2007
- [44] W.KHALIL, E.DOMBRE, « *Modélisation, Identification et Commande de Robots* », Editions Hermès, 1988
- [45] MARIA ALBA PEREZ « *Dual Quaternion Synthesis of Constrained Robotic Systems* » university of California, 2003
- [46] T. AL ANI « *Introduction à la robotique : Partie 1: Définitions et terminologies* » Laboratoire A<sup>2</sup>SI-ESIEE-Paris, 2011
- [47] A. PRUSKI, « *Robotique Générale* » : Edition ellipse, 1988
- [48] BRUNO SICILIANO & LORENZO SCIAVICCO & LUIGI VILLANI & GIUSEPPE ORIOLO « *Robotics Modelling, Planning and Control* » Springer-Verlag London Limited 2009.
- [49] J. NEIMARK & N. FUFAR. « *Dynamics of nonholonomic systems* », volume 33. Translations of Mathematical Monographs, 1972.
- [50] D.FILLIAT, « *Robotique Mobile* » : Cours C 10-2, Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées (ENSTA), France, 2005.
- [51] O. KHATIB. « *Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots* ». International Journal of Robotic Research, vol. 5, no. 1, pages 90–98, 1986.
- [52] PASCAL BIGRAS « *systèmes robotiques en contact* » tome I. Département de génie de la production automatisée, 2004
- [53] MELOUAH HACENE « *contribution à l'étude de la programmation et de la commande d'un robot manipulateur* » thèse du doctorat (1981).
- [54] ETIENNE DOMBRE & WISAMA KHALIL « *Modeling, Performance Analysis and Control of Robot Manipulators* » Hermès Science/Lavoisier 2006
- [55] A. ZAROOUR « *cour de post-graduation en robotique* » INH (1993).
- [56] MUHAMMAD AZRI BIN OTHMAN « *design and development of autonomous line tracking robot using microcontroller* » Faculty of Manufacturing Engineering / MAY 2008
- [57] ASANGA RATNAWEERA « *Robot Dynamics and Control* » Department of Mechanical Engineering - Faculty of Engineering - University of Peradeniya / 2007
- [58] SAID M. MEGAHED « *Robot Mechanical Structure and Tooling* » Mechanical Design & Production Department Faculty of Engineering / Cairo University / Egypt
- [59] G.J. MONKMAN, S. HESSE, R. STEINMANN, H. SCHUNK « *Robot Grippers* » Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA / 2007

- [60] SERGE. MONTAMBAULT «*Analyse et optimisation de préhenseurs mécaniques sous-actionnés*». Thèse présentée à la faculté des études supérieures de l'université laval pour l'obtention du grade de philosophie docteur (Ph. D.) 1997.
- [61] JEAN-PIERRE GAZEAU «*le contrôle d'une main robotique en vue de la réalisation de tâches de manipulation* » Laboratoire de Mécanique des Solides - UMR 6610 CNRS - université de Poitiers
- [62] B. BOUNAB, D. SIDOBRE AND A. ZAATRI «*Central Axis Approach for Computing n-Finger Force-closure Grasps*» IEEE International Conference on Robotics and Automation Pasadena, CA, USA, May 2008
- [63] BELKACEM BOUNAB «*Planification de prises pour la manipulation robotisée* »thèse en vue de l'obtention de doctorat de l'Université de Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier) 2011
- [64] SAHAR EL-KHOURY «*Approche Mixte, Analytique et par Apprentissage, pour la Synthèse d'une Prise Naturelle* » thèse Pour obtenir le grade de Docteur de l'Université Pierre et Marie Curie (Paris VI) 2008.
- [65] VASSILIOS N. CHRISTOPOULOS and PAUL SCHRATER «*Handling shape and contact location uncertainty in grasping two-dimensional planar objects*» Preprint submitted to 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems /2007.
- [66] MATHIEU MYRAND «*simulation dynamique d'une main robotique sous-actionnée* » Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval pour l'obtention du grade de maitre és sciences (M.Sc.).
- [67] B. SICILIANO et O. KHATIB «*handbook of robotics* » Springer, 2008
- [68] YU ZHENG & WEN-HAN QIAN«*Coping with the Grasping Uncertainties in Force-closure Analysis*» Robotics Institute Shanghai Jiao Tong University Shanghai
- [69] BELKACEM BOUNAB «*nouvel algorithme pour assurer une prise 2d de type force-closure*» Laboratoire d'accueil :LAAS-CNRS, Toulouse, France. Cotutelle entre : Université Paul Sabatier, Toulouse, France / Ecole Militaire Polytechnique, Alger, Algérie
- [70] MURRAY R., LI Z., SASTRY S «*A Mathematical Introduction to Robotic anipulation*», Boca Raton, FL: CRC press. (1994).
- [71] A. BACCHI. «*On the closure properties of robotic grasping* ». International journal of robtics research, vol. 14, no. 4.

- [72] YAN-BIN JIA «*Computation on Parametric Curves with an Application in Grasping*». In the International Journal of Robotics Research, vol. 23, No. 7-8, 825-855(2004).
- [73] SUDSANG A., PHOKA T «*Geometric Reformulation of 3-Fingred Force-Closure Condition*». In International Conference on Robotics & Automation. (2005).
- [74] DANIEL SIDOBRE «*Manipulation robotisée et interaction* » Habilitation à diriger les recherches, présentée devant l'université Paul Sabatier de Toulouse, 2009
- [75] ZEGHLOUL SAÏD, ARSICAULT MARC, GAZEAU JEAN-PIERRE. «*Préhension et manipulation dextre en robotique* » Laboratoire de Mécanique des Solides (LMS) Université de Poitiers - UMR CNRS 6610/ JNRR 2007
- [76] PHILIPPE BIDAUD «*Préhension en robotique* » Techniques de l'Ingénieur, traité Informatique industrielle. *L'Université Pierre-et-Marie-Curie, Paris VI*
- [77] «*pincés pneumatique* » guide de dimensionnement des pincés. METAL WORK PNEUMATIC
- [78] SAVESCU (STAIKU) ADRIANA VIOLETA «*analyse et modélisation du mouvement de préhension* » THESE présentée devant l'université CLAUDE BERNARD - LYON 1 pour l'obtention du diplôme de doctorat/ 2006
- [79] IGNACIO HERRERA AGUILAR «*Commande des bras manipulateurs et retour visuel pour des applications à la robotique de service* » thèse présentée pour l'obtention du Doctorat de l'Université Toulouse III (spécialité robotique) 2007
- [80] <http://www.sciencesettechniques.com/electronique/cour.php?action=1&tuto=41>
- [89] <http://www.abb.fr/product/fr/9AAC910011.aspx>
- [90] <http://www.jautomatise.com/top200/pdf/robot.pdf>
- [91] <http://www.roboprobe.com/sqshv>

---

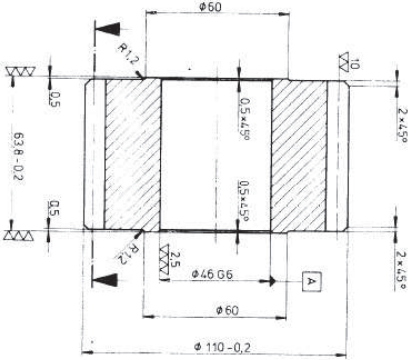
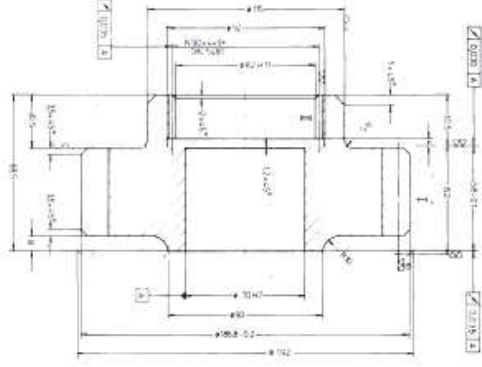
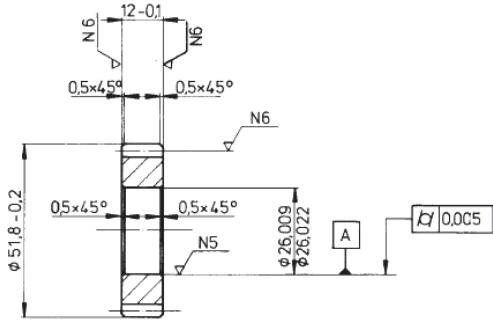
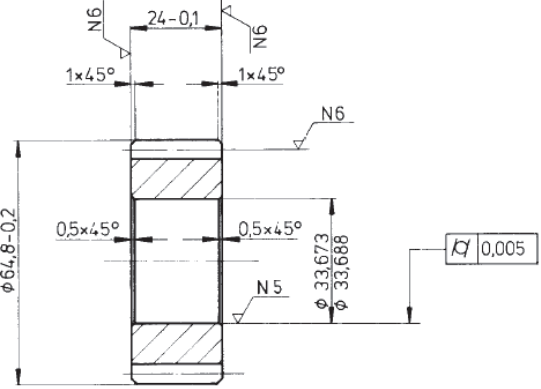
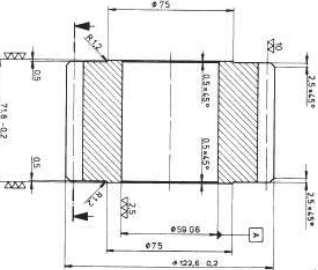
---

## **ANNEXES**

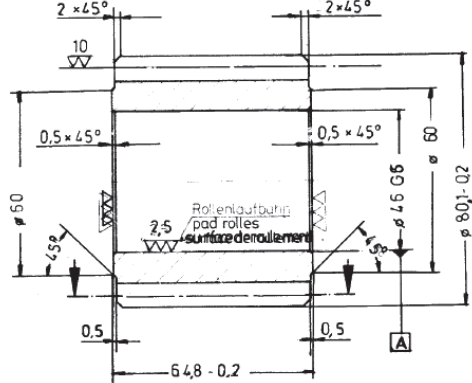
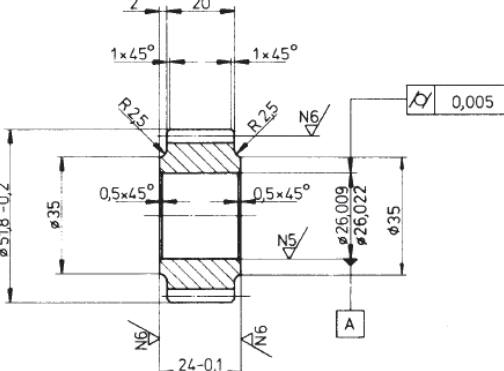
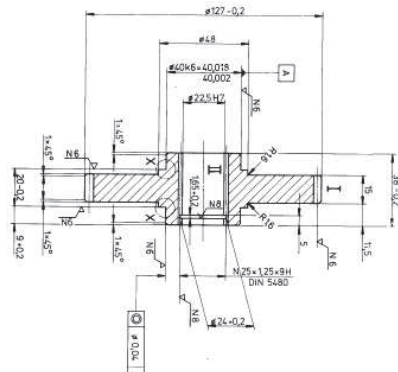
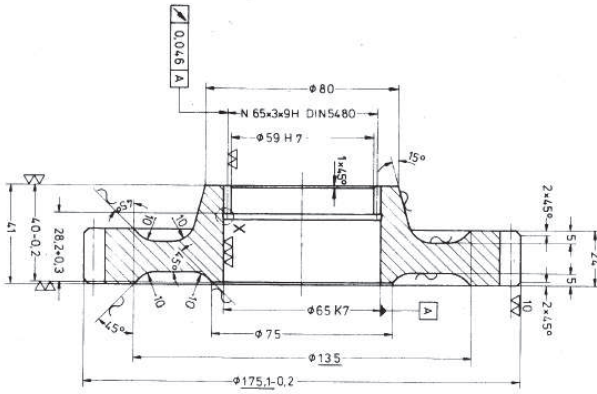
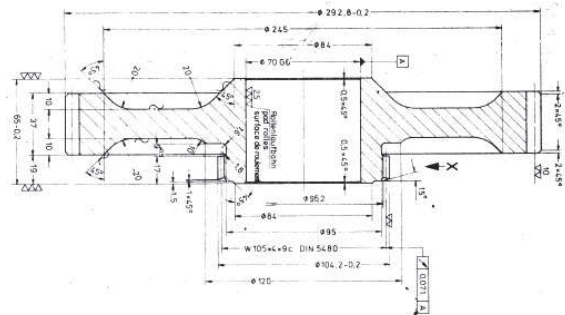
---

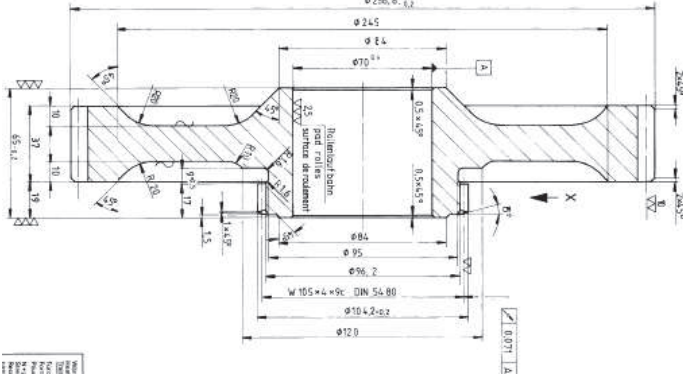
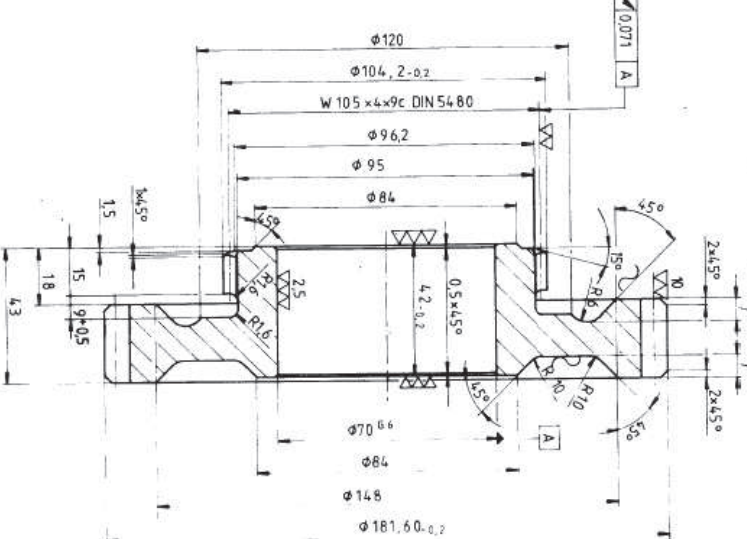
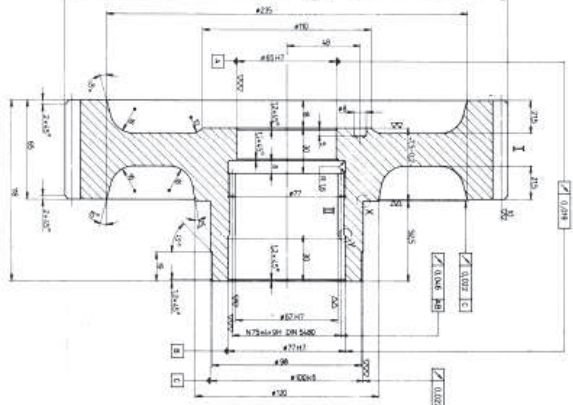
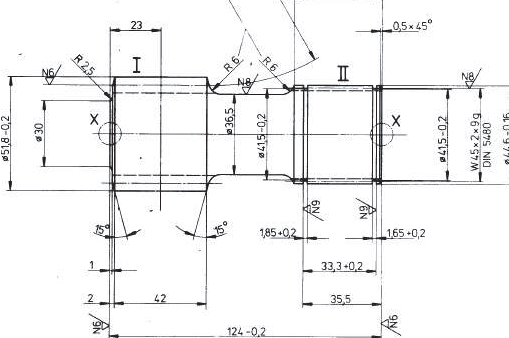
---

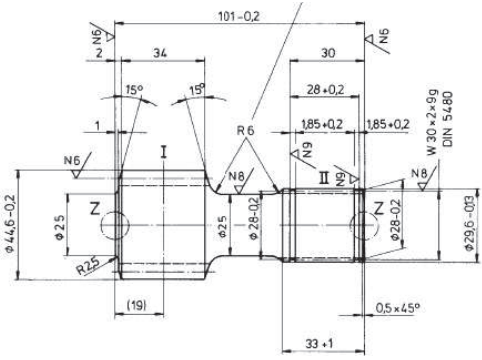
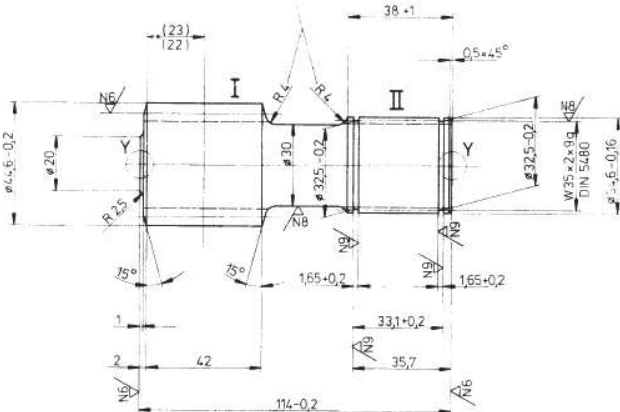
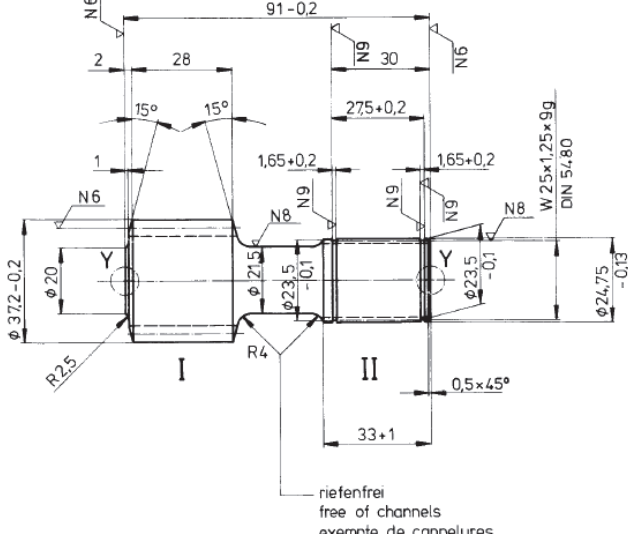
Nom / code	dessins	caractéristiques
Roue satellite 931012501		-20 Mn Cr5 -résistance à la traction : 1000-1300N/mm <sup>2</sup> -∅ intérieur : 59.66 mm -Z=32 -modèle ou matrice N°: L 1997
Roue satellite 931051201		-20 Mn Cr 5 -résistance à la traction : 1000-1300N/mm <sup>2</sup> -∅ intérieur : 33.688 mm -Z=31 -modèle ou matrice:/
Roue satellite 931051501		-20 Mn Cr 5 -résistance à la traction : 1000-1300N/mm <sup>2</sup> -∅ intérieur : 62 mm -Z=29 -modèle ou matrice:/
Roue planétaire 931053601		-20 Mn Cr 6 -résistance à la traction : 1000-1300N/mm <sup>2</sup> -∅ min : 26.022 mm -Z=23 -modèle ou matrice:/
Roue planétaire 931053801		-20 Mn Cr 5 -résistance à la traction : 1000-1300N/mm <sup>2</sup> -∅ min : 47 mm -modèle ou matrice:/
Roue dentée droite 931061001		-17 Cr Ni Mo 6 -résistance à la traction : 1000-1350N/mm <sup>2</sup> -∅ min : 36.5 mm -Z=23 -modèle ou matrice N°: L 2382

<p>Roue planétaire 931009001</p>		<p>-20 Mn Cr 5 -résistance à la traction : 1000-1300N/mm<sup>2</sup> -∅ min : 46 mm -modèle ou matrice N°: L 1986</p>
<p>Roue dentée droite 931291101</p>		<p>-17 Cr Ni Mo 6 -résistance à la traction : 1000-1350N/mm<sup>2</sup> -∅ min : 115 mm -Z=22 -modèle ou matrice N°: L 2162</p>
<p>Roue satellite 931081001</p>		<p>-20 Mn Cr 5 -résistance à la traction : 1000-1300N/mm<sup>2</sup> -∅ min : 26mm -modèle ou matrice: /</p>
<p>Roue satellite 931081301</p>		<p>-20 Mn Cr 5 -résistance à la traction : 1000-1300N/mm<sup>2</sup> -∅ min : 33mm -modèle ou matrice: /</p>
<p>Roue satellite 931005101</p>		<p>-20 Mn Cr 5 -résistance à la traction : 1000-1300N/mm<sup>2</sup> -∅ min : 59 mm -modèle ou matrice N°: L 1966</p>

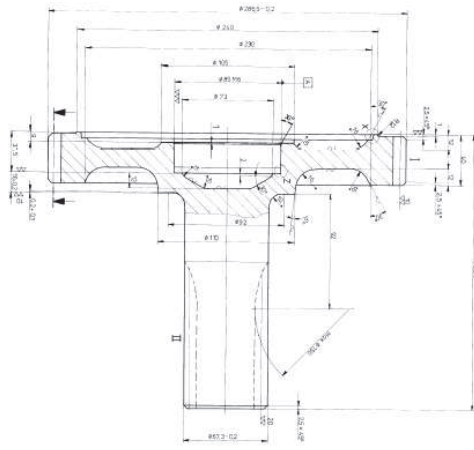


<p>Roue planétaire 910079180</p>		<p>-20 Mn Cr 5 -résistance à la traction : 1000-1300N/mm<sup>2</sup> -Ø min : 46 mm -modèle ou matrice N°: L 1558</p>
<p>Roue satellite 931084601</p>		<p>-20 Mn Cr 5 -résistance à la traction : 1000-1300N/mm<sup>2</sup> -Ø min : 59 mm -modèle ou matrice</p>
<p>Roue dentée droite 931080801</p>		<p>-16 Mn Cr 5 -résistance à la traction : 1000-1100N/mm<sup>2</sup> -Ø min : 40mm -modèle ou matrice: /</p>
<p>Roue dentée 910090280</p>		<p>-20 Mn Cr 5 -résistance à la traction : 1000-1300N/mm<sup>2</sup> -Ø min : 65 mm -modèle ou matrice N°: 1539</p>
<p>Roue dentée 910090480</p>		<p>-20 Mn Cr 5 -résistance à la traction : 1000-1300N/mm<sup>2</sup> -Ø min : 70 mm -modèle ou matrice N°:1541</p>

<p>Roue dentée 912827780</p>		<p>-20 Mn Cr 5 -résistance à la traction : 1000-1300N/mm<sup>2</sup> -∅ min : 70 mm -modèle ou matrice N°:1541a</p>
<p>Roue dentée 912827880</p>		<p>-20 Mn Cr 5 -résistance à la traction : 1000-1300N/mm<sup>2</sup> -∅ min : 70 mm -modèle ou matrice N°:1542</p>
<p>Roue dentée 931000901</p>		<p>-20 Mn Cr 5 -résistance à la traction : 1000-1300N/mm<sup>2</sup> -∅ min : 98mm -modèle ou matrice N°:1954</p>
<p>Roue planétaire 931051401</p>		<p>-17 Cr Ni Mo 6 -résistance à la traction : 1000-1350N/mm<sup>2</sup> -∅ min : 36.5 mm -Z=12  -modèle ou matrice: /</p>

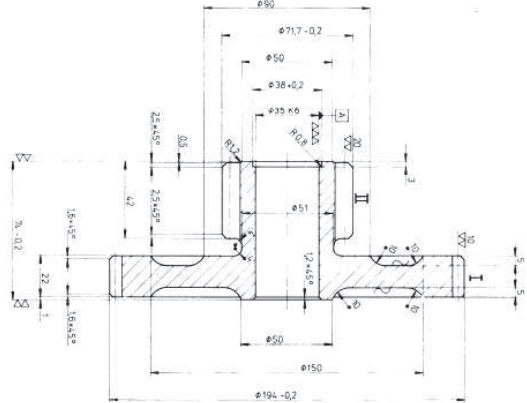
<p>Roue planétaire 931053701</p>		<p>-17 Cr Ni Mo 6 -résistance à la traction : 1000-1350N/mm<sup>2</sup> -∅ min : 25 mm -modèle ou matrice: /</p>
<p>Roue planétaire 931080901</p>		<p>-17 Cr Ni Mo 6 -résistance à la traction : 1000-1350N/mm<sup>2</sup> -∅ min : 20 mm -modèle ou matrice: /</p>
<p>Roue planétaire 931084801</p>		<p>-17 Cr Ni Mo 6 -résistance à la traction : 1000-1350N/mm<sup>2</sup> -∅ min : 30 mm -modèle ou matrice: /</p>
<p>Roue planétaire 931081201</p>	 <p>riefenfrei free of channels exempte de cannelures</p>	<p>-17 Cr Ni Mo 6 -résistance à la traction : 1000-1350N/mm<sup>2</sup> -∅ min : 21. mm -modèle ou matrice: /</p>

Roue jumelée  
931005001



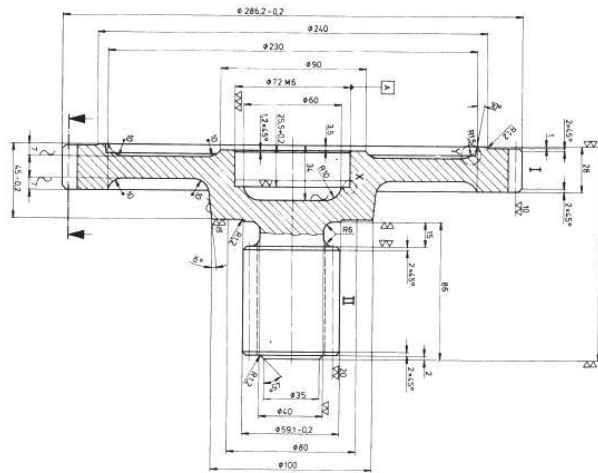
-17 Cr Ni Mo 6  
-résistance à la traction :  
1000-1300N/mm<sup>2</sup>  
-∅ min : 67.3 mm  
-modèle ou matrice N°: L 1965

Roue jumelée  
931011201



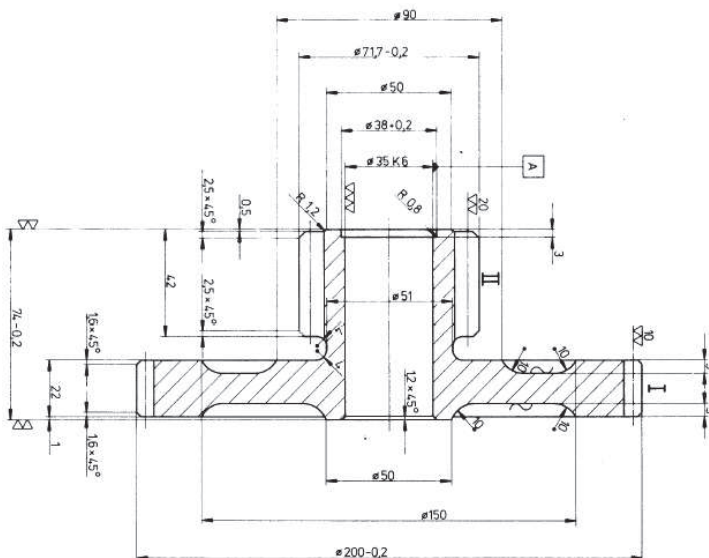
-20 Mn Cr 5  
-résistance à la traction :  
1000-1300N/mm<sup>2</sup>  
-∅ min : 35 mm  
-modèle ou matrice N°: L 1964

Roue jumelée  
931008901



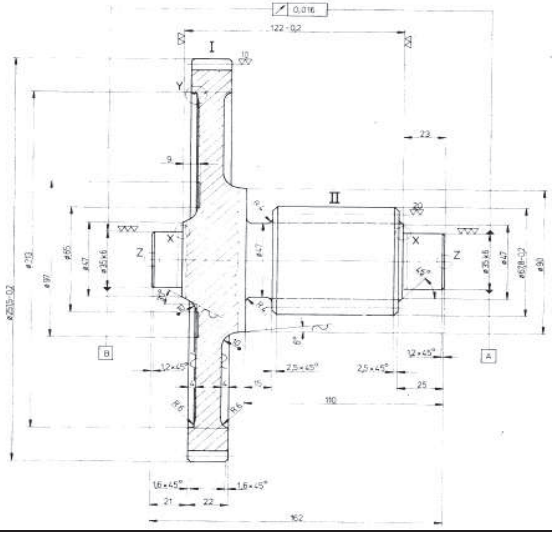
-20 Mn Cr 5  
-résistance à la traction :  
1000-1350N/mm<sup>2</sup>  
-∅ min : 100 mm  
-modèle ou matrice N°: L 1985

Roue jumelée  
931007201



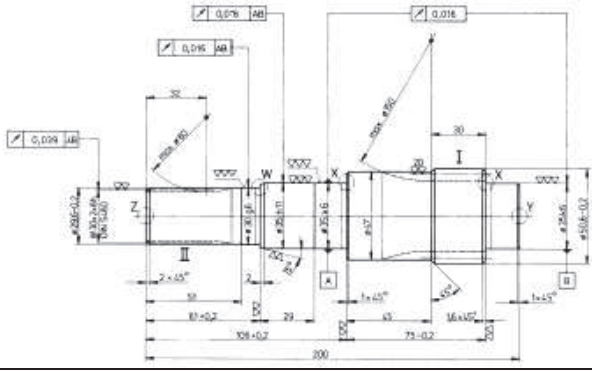
-20 Mn Cr 5  
-résistance à la traction :  
1000-1300N/mm<sup>2</sup>  
-∅ min : 35 mm  
-modèle ou matrice N°: L1964

Roue jumelée  
931000901



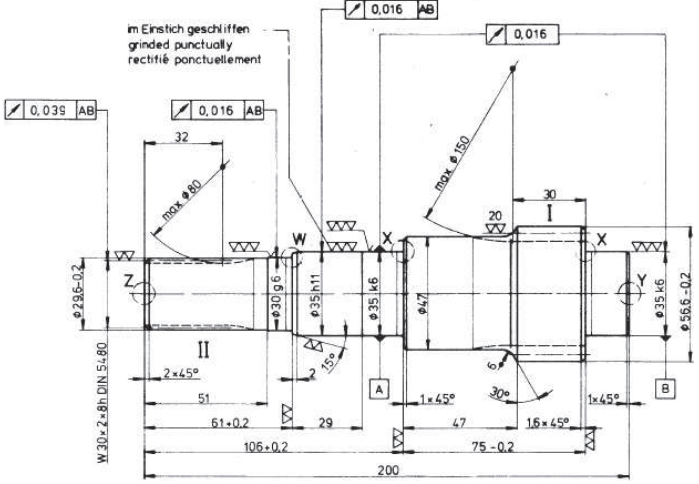
-20 Mn Cr 5  
-résistance à la traction :  
1000-1300N/mm<sup>2</sup>  
-Ø min : 35 mm  
-modèle ou matrice N°:1953

Arbre primaire  
931007101



-20 Mn Cr 5  
-résistance à la traction :  
1000-1300N/mm<sup>2</sup>  
-Ø min : 35 mm  
-modèle ou matrice N°:1963

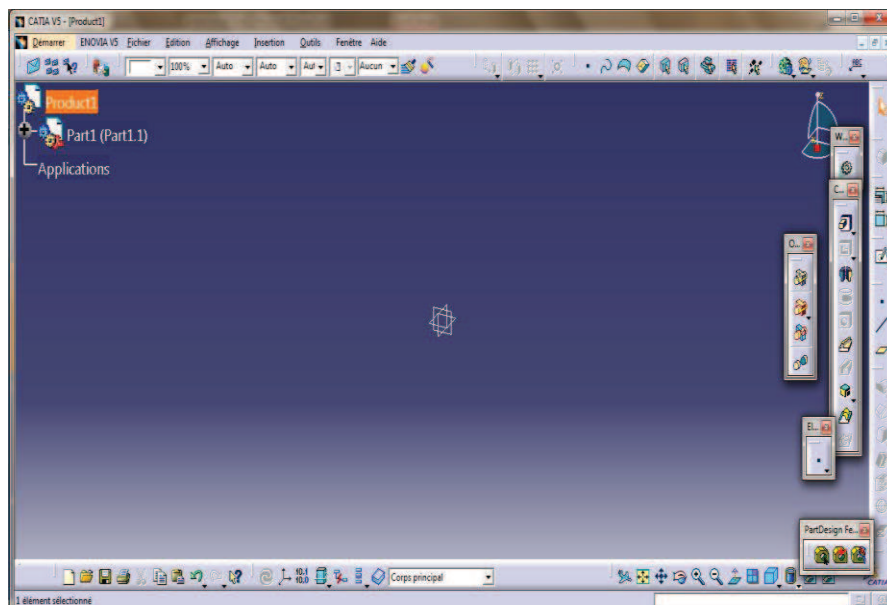
Arbre primaire  
931011101



-20 Mn Cr 5  
-résistance à la traction :  
1000-1300N/mm<sup>2</sup>  
-Ø min : 35 mm  
-modèle ou matrice N°:1963

## LOGICIEL CATIA V5

CATIA V5 est un logiciel de CAO 3D volumique et surfacique de nouvelle génération. Il fait appel à des opérations élémentaires paramétriques pour générer les différents objets géométriques, contrairement aux logiciels de la génération précédente qui fonctionnaient strictement à partir d'opérations booléennes



## Espace du travail



# Pince

