

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUEES
DÉPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie Mécanique

Parcours : Master Professionnel

Spécialité : Productique

THÈME

ETUDE, CONCEPTION ET REALISATION D'UN BRAS A 5 DEGRES DE LIBERTE POUR L'ACQUISITION DES DONNEES GEOMETRIQUES POUR LA METROLOGIE ET LA MODELISATION DES PIECES MECANIKES

Préparé par :
Mr. ALI GUECHI Khaled
Mr. BOUDJEMAA Lahcen

Devant le Jury :

Nom et prénoms	Grade	Lieu d'exercice	Qualité
Mr. GUEMMOUR Mohamed	MCB	UIK Tiaret	Président
Mr. MECHKOUR Elhadi	MCB	UIK Tiaret	Examinateur
Mr. ABOSHIGHIBA Hicham	MAA	UIK Tiaret	Encadreur
Mr. CHEROUIK Ahmed	ING .Principal	UIK Tiaret	Invité 1

PROMOTION 2016 /2017

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUEES
DÉPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie Mécanique

Parcours : Master Professionnel

Spécialité : Productique

THÈME

ETUDE, CONCEPTION ET REALISATION D'UN BRAS A 5 DEGRES DE LIBERTE POUR L'ACQUISITION DES DONNEES GEOMETRIQUES POUR LA METROLOGIE ET LA MODELISATION DES PIECES MECANIKES

Préparé par :

Mr. ALI GUECHI Khaled

Mr. BOUDJEMAA Lahcen

Devant le Jury :

Nom et prénoms	Grade	Lieu d'exercice	Qualité
Mr. GUEMMOUR Mohamed	MCB	UIK Tiaret	Président
Mr. MECHKOUR Elhadi	MCB	UIK Tiaret	Examinateur
Mr. ABOSHIGHIBA Hicham	MAA	UIK Tiaret	Encadreur
Mr. CHEROUIK Ahmed	ING .Principal	UIK Tiaret	Invité 1

PROMOTION 2016 /2017

DEDICACES

Nous dédions ce modeste travail aux personnes les plus exceptionnels qui existent dans le monde, nos chers parents en reconnaissance du soutien moral, matériel et la patience dont ils ont fait preuve qu'ALLAH les garde.

A nos familles et nos chers amis.

A tous ceux qui ont participé de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail.

A tous nos collègues de la promotion productique 2017

*ALI GUECHI Khaled
BOUDJEMAA Lahcen*

REMERCIEMENT

Nous remercions tout d'abord Allah qui nous a donné la force pour terminer ce modeste travail.

Nous remercions vivement Monsieur : ABOSHIGHIBA Hicham pour son encadrement et ses conseils précieux.

Nous remercions aussi les membres du jury qui nous ont fait honneur d'accepter le jugement de notre travail.

Nous tenons aussi à remercier tous les membres de l'équipe du Hall de Technologie, sans leur aide la réalisation du bras 3D de mesure n'aurait pas été possible :

- *M^r H. Cherouik Responsable du Hall de technologie*
- *M^{elle} H.Lazaar Ingénieur de Laboratoire*
- *M^r A.Lakhdar Attaché de Laboratoire*
- *M^r B.Abbou Attaché de laboratoire*
- *M^rA. Melliani Tourneur*

Un remerciement spécial va à Mr.Guichich Abdel Madjid, Mr.Mechkour Elhadi et Mr.Debbih Senouci pour leurs aides et pour les discussions très instructives que nous avons eues avec eux

Nous tenons aussi à remercier les propriétaires des ateliers de menuiserie d'Aluminium à travers la ville de Tiaret et Frenda qui nous ont fourni la matière première de notre réalisation

Enfin, nous remercions tous les enseignants du Département Génie Mécanique et tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail, qu'ils trouvent ici l'expression de nos profondes gratitude et respects.

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

LES SOLUTIONS EXISTANTES

Figure I.1 : Machines à mesurer tridimensionnelles.....	4
Figure I.2 : Bras Articulé de Mesure 3D.....	4
Figure I.3 : Les scanners laser par triangulation.....	5
Figure I.4 : Scanner laser par temps de vol.....	6
Figure I.5 : Scanners laser par décalage de phase.....	6
Figure I.6 : Scanner par balayage de lumière structurée.....	7
Figure I.7 : Photogrammétrie	7
Figure I.8 : Scanners stéréoscopiques	8
Figure I.9 : Scanners à silhouette.....	8
Figure I.10 : Machine de mesure tridimensionnelle.....	9
Figure I.11 : Palpeur.....	10
Figure I.12 : Architecture d'un bras articulé de mesure 3D.....	11
Figure I.13 : MicroScribe G2X.....	11

CHAPITRE II

THEORIE

Figure II.1 : chaine en série, parallèle et hybride.....	13
Figure II.2 : Symbole de l'articulation rotoïde	14
Figure.II.3 : Symbole de l'articulation prismatique.....	14
Figure. II.4 : morphologies possibles	15
Figure. II.5 : Schéma cinématique du Bras Polyarticulé 3D	16
Figure. II.6 : La position Γ (à gauche) et la position I (à droite).....	16

CHAPITRE III

CONCEPTION ET REALISATION

Figure III.1 : Géométrie à analyse quasi-planaire.....	19
Figure III.2 : Configuraton 1RRR.....	20
Figure III.3 : Les possibilités offertes par la configuration 1 RRR.....	20
Figure III.4 : Pièce 2	21
Figure III.5 : Problème d’accessibilité de la configuration RRR	21
Figure III.6 : Possibilités d’articulations supplémentaires.....	22
Figure III.7 : Problème d’accessibilité pas entièrement résolu	22
Figure III.8 : Combinaison 1 en configuration RRRRR intéressante	23
Figure III.9 : Combinaison 2 en configuration RRRRR intéressante	23
Figure III.10 : Dimensions du capteur à résistance variable	24
Figure III.11 : Système de guidage connecté au capteur.....	25
Figure III.12 : La configuration géométrique du Bras	26
Figure III. 13 : perçage de la base pour créer la poche du potentiomètre	27
Figure III.14 : Deuxième partie de la base en acier fixée par des 4 vis-écrous.	27
Figure III.15 : Traitement de surface par Tournage et Perçage de la Partie cylindrique de la Base.....	28
Figure III.16 : Sectionner le contre poids en acier par la scie mécanique	28
Figure III.17 : Perçage du contrepoids pour loger l’axe de liaison en rotation avec le troisième joint	28
Figure III.18 : Le système du contrepoids installé sur le joint en U par un axe en Bronze et deux roulements de guidage	29

LISTE DES FIGURES

Figure III.19 : Le premier joint de la chaîne articulée est composé d'un assemblage de 3 pièces en Aluminium sous forme d'un U	29
Figure III.20 : Le premier et le deuxième joint	29
Figure III.21 : Fusion et moulage des pièces en Aluminium	30
Figure III.22 : Pièces moulées en Aluminium	30
Figure III.23 : Traitement de la forme générale manuellement par scie à métaux.....	30
Figure III.24 : Pièces qui commencent à prendre forme	30
Figure III.25 : Usinage de surfacage de la pièce par fraisage	31
Figure III.26 : Création de la forme ronde.....	31
Figure III.27 : Finition de la forme ronde manuellement	31
Figure III.28 : Quelques défauts de réalisation	32
Figure III.29 : Tournage de l'axe du 6 ^{ème} joint	32
Figure III.30 : Les pièces en Aluminium et bronze semi-finies.....	32
Figure III.31 : Tournage de la loge du roulement de guidage.....	32
Figure III.32 : Perçage des loges du roulement, des alésages et du passage des vis.....	33
Figure III.33 : Pièces Percées.....	33
Figure III.34 : Erreur de définition de diamètre commise pendant le perçage de la loge du roulement, corrigée par l'insertion d'une bague.....	34
Figure III.35 : Articulations assemblées (à gauche), et montées avec les joints en PVC (à droite).....	34
Figure III.36 : Le bras monté.....	34
Figure III.37 : Proportions du bras par rapport à l'opérateur.....	35
Figure III.38 : Schéma électronique.....	35
Figure III.39 : Arduino Uno et plaque d'essai CL.....	35
Figure III.40 : Montage de l'Arduino et la plaque d'interface sous forme de bouclier (Shield)...	36

Sommaire

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE I

Les solutions technologiques

I.1 La rétro-ingénierie (Reverse Engineering).....	2
I.1.1 L'imitation pour un usage personnel.....	2
I.1.2 Optimisation des pièces.....	3
I.1.3 Mise à jour des anciens modèles CAO.....	3
I.2 Les technologies de scan 3D existantes	3
I.2.1 Les scanners avec contact	3
I.2.2 Les scanners sans contact actifs.....	4
I.2.2.1 Scanners 3D à technologie laser	5
I.2.2.2.a Les scanners laser par triangulation.....	5
I.2.2.3.b Les scanners laser par temps de vol.....	5
I.2.2.4.c Les scanners laser par décalage de phase	6
I.2.2.5 Scanners par balayage de lumière blanche.....	6
I.2.3 Les scanners sans contact passifs.....	7
I.2.3.1 Photogrammétrie	7
I.2.3.2 Les scanners stéréoscopiques	7
I.2.3.3 Les scanners à silhouette	8
I.3 La machine à mesurer tridimensionnelle ou la MMT	8

I.3.1 Aperçue historique	8
I.3.2 Principe général	8
I.3.3 Dispositif de pal page	9
I.3.4 Le bras articulé de mesure 3D	10

CHAPITRE II

THÉORIE

II.1 Introduction.....	12
II.2 Chaines Articulées.....	12
II.3 Nombre de degré de liberté	13
II.4 Types d'articulations	13
II.4.1 Articulation rotoïde	14
II.4.2 Articulation prismatique	14
II.5.Morphologie des robots manipulateurs.....	14
II.6 La position de référence :.....	16
II.7 La résolution du problème cinématique direct	17
II.8 Paramètres de Denavit-Hartenberg.....	17

CHAPITRE III

CONCEPTION ET REALISATION

III.1 Conception	18
III.1.1 Configuration 1 (RRR)	18
III.1.2 Configuration 2 (RRRR)	19
III.1.3 Configuration 3 (RRRRR)	21

III.2 Dimensionnement.....	22
III.2.1 Les roulements de guidage.....	23
III.3 Choix des matériaux	24
III.4 Réalisation (Partie Mécanique).....	26
III.4.1 La base.....	26
III.4.2 Les articulations supérieures.....	29
III.5 Réalisation de la partie électronique.....	34
III.6 La partie informatique.....	35
Conclusion Générale.....	37

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

Durant la production d'une pièce mécanique, celle-ci passe par plusieurs étapes :

1. L'idée du produit, qui doit répondre à un besoin et respecter un cahier de charge ;
2. La conception du produit, qui passe souvent par un processus itératif pour aboutir à la configuration finale ;
3. La fabrication d'un prototype pour faire les tests ;
4. Et en fin, la production en masse (en série).

Dans certains scénarios la situation commence par l'existence de la pièce finie au début du processus. Un scénario pareil peut être rencontré dans le cas de la rétro-conception (Reverse Engineering), ou dans le cas où on veut faire une simulation ou faire des modifications sur une pièce existante.

Dans tous ces scénarios, si la pièce est relativement simple à modéliser géométriquement les moyens classiques peuvent être suffisants : métrologie manuelle, dessin assisté par ordinateur classique. Mais si la pièce présente des complexités géométriques ou si le temps consacré à la modélisation géométrique est trop limité les solutions classiques deviennent handicapantes et souvent très peu exactes.

Dans des situations similaires la technologie nous propose d'autres solutions, des fois non conventionnelles, qui peuvent être extrêmement efficaces. On peut citer :

- La MMT (Les machines à mesurer tridimensionnelle)
- Le scanneur à balayage laser
- Photogrammétrie (Capture photos avec variation d'angles)
- Capture photos avec donnée de profondeur

Le but de notre étude est de concevoir puis réaliser un bras articulé de mesure 3D à bas cout ayant le minimum de degrés de liberté pour la métrologie et l'acquisition de données géométriques de pièces mécaniques.

L'étude est organisée comme suit :

Le **chapitre I** est consacré à la recherche bibliographique qui expose les différentes solutions technologiques citées. Le chapitre est conclu par une discussion qui justifie le choix de la MMT comme la solution la plus pratique parmi les autres.

Au **deuxième chapitre** nous allons exposer la théorie derrière le développement du bras de mesure 3D.

Dans le **dernier chapitre** nous allons citer les différents défis rencontrés durant la conception et la réalisation du bras et les solutions adoptées pour y remédier.

L'étude est conclue par une récapitulation et une série de propositions pour une éventuelle étude future ayant pour objectif l'amélioration du bras proposé.

CHAPITRE I

LES SOLUTIONS EXISTANTES

CHAPITRE I**LES SOLUTIONS EXISTANTES**

Dans un scénario où le processus de l'étude mécanique commence par une pièce existante relativement compliquée à modéliser géométriquement ou si le temps consacré à la modélisation est trop limité la technologie propose plusieurs solutions extrêmement efficaces parmi lesquelles on peut citer :

- La MMT (Les machines à mesurer tridimensionnelle)
- Le scanneur à balayage laser
- Photogrammétrie (Capture photos avec variation d'angles)
- Capture photos avec donnée de profondeur

Ce chapitre est consacré à la recherche bibliographique qui expose les différentes solutions technologiques citées. Le chapitre est conclu par une discussion qui justifie le choix de la MMT comme la solution la plus pratique parmi les autres.

D'abord on va traiter le scénario dans lequel on aura besoin de ce type de solutions technologiques

I.1 La rétro-ingénierie (Reverse Engineering) :

Comme son nom l'indique, la rétro-ingénierie fonctionne en sens inverse. Le but est de mener un projet d'un produit final sans disposer des dessins originaux ou d'informations sur le fonctionnement.

L'un des plus importants avantages de la rétro-ingénierie est que le temps de développement global d'un produit ou d'une pièce est considérablement réduit. Une pièce peut être rapidement enregistrée en 3D à l'aide d'une machine de mesure adaptée et ensuite exportée pour un traitement ultérieur. Un bon instrument de mesure est donc essentiel. Donc, si les mesures ne sont pas d'une extrême précision, la nouvelle pièce ne sera pas une copie exacte et ne fonctionnera sans doute pas.

Les avantages tels que le gain de temps et la flexibilité de la technique font qu'elle peut être utilisée pour de nombreuses applications variées :

I.1.1 L'imitation pour un usage personnel

Il est vrai que le but principal de la rétro-ingénierie est de développer un produit avec des caractéristiques identiques ou similaires au produit existant. Cela ne signifie pas nécessairement qu'il s'agit de produits concurrents. Il arrive souvent par exemple qu'une pièce d'une machine doive être remplacée mais que le fabricant ne puisse plus livrer de

nouvelles pièces. La rétro-ingénierie permet de réaliser une nouvelle pièce sur base de la pièce défectueuse de la machine et de garder la machine opérationnelle.

I.1.2 Optimisation des pièces

La technique peut également être utilisée pour reconcevoir des pièces et éliminer ainsi une mauvaise caractéristique ou optimiser une bonne caractéristique. De plus, la rétro-ingénierie peut être utilisée pour réaliser une analyse par éléments finis (FEA) ou une dynamique des fluides numérique pour des pièces pour lesquelles aucune information n'est disponible.

I.1.3 Mise à jour des anciens modèles CAO

La rétro-ingénierie est très pratique pour construire un produit existant de manière numérique, par exemple dans un modèle CAO. Avec d'anciennes pièces, ce n'est souvent pas disponible. Grâce à la rétro-ingénierie, il est possible d'en créer une. Mais il arrive aussi que les modèles CAO ne prennent pas en charge les nouvelles modifications. Ces modèles originaux peuvent alors être mis à jour grâce à la rétro-ingénierie.

I.2 Les technologies de scan 3D existantes

En général, tout appareil qui permet de recueillir des informations tridimensionnelles sur un objet est un scanner 3D. Pour recueillir ces informations, plusieurs technologies existent. Les scanners 3D sont divisés en deux grandes catégories :

1. les scanners avec contact.
2. et les scanners sans contact.

Dans cette dernière catégorie on trouve deux grandes familles :

- a) les technologies actives
- b) et les technologies passives.

I.2.1 Les scanners avec contact :

Comme leur nom l'indique, ces scanners touchent la surface de l'objet. En général, l'objet à scanner est maintenu fermement sur un support, et c'est un palpeur mobile positionné automatiquement (MMT) ou manuellement (Bras Articulé de Mesure) et doté de capteurs de haute précision qui vient inspecter l'objet. Cette technologie se caractérise par sa grande précision, mais le contact direct avec l'objet peut modifier l'apparence de celui-ci ou l'endommager. Ce qui la rend inadaptée pour scanner des objets fragiles. Aussi, les scanners avec contact sont relativement lents en comparaison avec les autres technologies.

Dans cette catégorie on trouve les :

- Machines à mesurer tridimensionnelles
- et les Bras Articulés de Mesure 3D

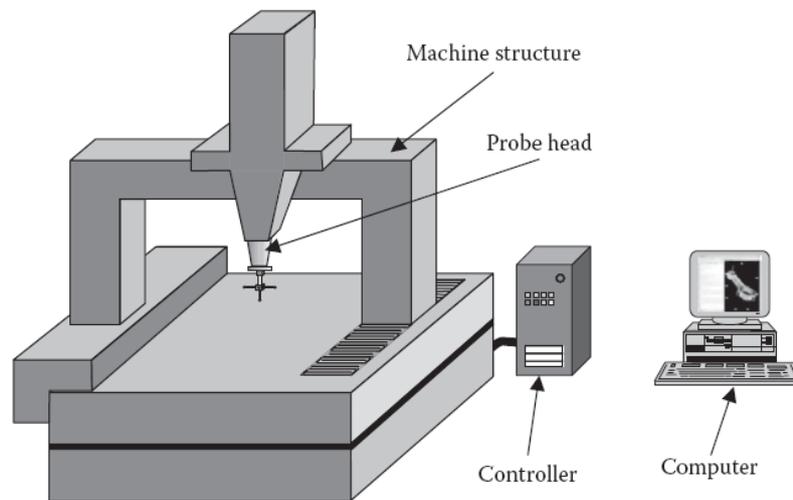


Figure I.1 : Machines à mesurer tridimensionnelles [11]

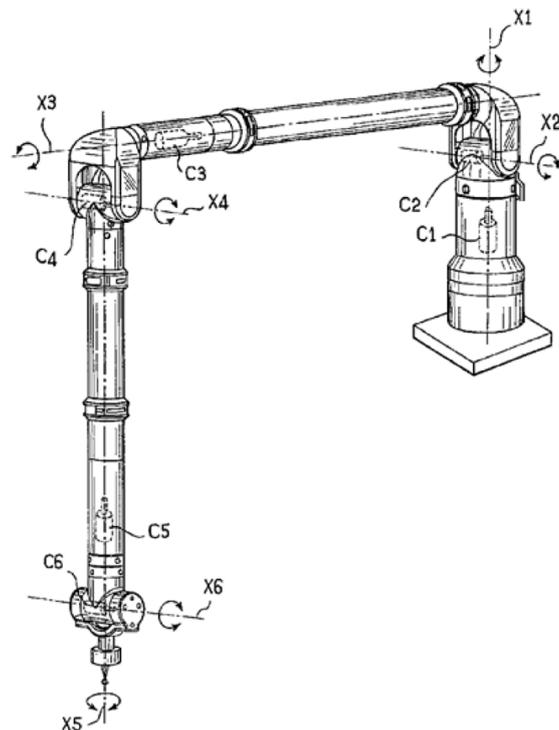


Figure I.2 : Bras Articulé de Mesure 3D [4]

I.2.2 Les scanners sans contact actifs:

Les scanners sans contact actifs sont appelés ainsi car ils émettent un rayonnement vers l'objet à scanner (lumière, ultrasons, rayon X, laser...) et utilisent la réflexion pour

analyser ce dernier. Ce type de scanners est le plus répandu et le plus utilisé (notamment dans le domaine de l'impression 3D). Différentes technologies sont disponibles :

I.2.2.1 Scanners 3D à technologie laser :

Les scanners 3D à technologie laser peuvent être divisés en trois catégories :

- a) les scanners par triangulation
- b) les scanners par temps de vol
- c) et les scanners par décalage de phase

I.2.2.1.a Les scanners laser par triangulation fonctionnent en émettant une ligne ou un point laser vers l'objet et en recueillant sa réflexion grâce à un capteur spécial situé à une distance connue de la source émettrice du laser. L'angle de réflexion générée est ainsi utilisé pour calculer les positions des points laser. Ce type de scanners présente l'avantage d'être souvent portable et peu sensible à la lumière ambiante, mais leur précision est souvent limitée.

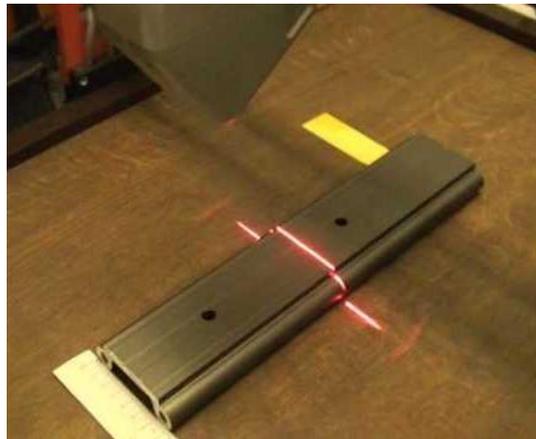


Figure I.3 : Les scanners laser par triangulation

I.2.2.1.b Les scanners laser par temps de vol émettent des impulsions laser vers l'objet à scanner, ces impulsions sont réfléchies par ce dernier et détectées par un capteur spécial. Le temps écoulé entre l'émission et la réception de la réflexion du laser est utilisé pour calculer la distance (la vitesse de la lumière laser étant connue). La portée de ce type de scanners constitue leur plus grand avantage, mais tout comme les scanners par triangulation, ils sont peu précis, et assez lents.



Figure I.4 : Scanner laser par temps de vol

I.2.2.1.c Les scanners laser par décalage de phase fonctionnent avec le même principe de réflexion du laser par la surface de l'objet, mais utilisent le décalage de phase du laser pour faire les mesures. Ce qui offre une meilleure performance en comparaison avec la technologie par temps de vol. Bien que la portée de ce type de scanners soit relativement limitée, ils sont rapides et précis.



Figure I.5 : Scanners laser par décalage de phase

I.2.2.2 Scanners par balayage de lumière blanche

Le balayage de lumière blanche (ou balayage de lumière structurée) utilise un projecteur pour pointer différents motifs lumineux sur l'objet à scanner (traits, carrés, ronds...). Une caméra va prendre des photos de l'objet et un logiciel spécialisé va permettre de situer les motifs et de déterminer les déformations qu'ils ont subies et ainsi obtenir des données en 3D de l'objet. Cette technologie permet un temps de scan meilleur que le laser, ainsi qu'une très grande précision.

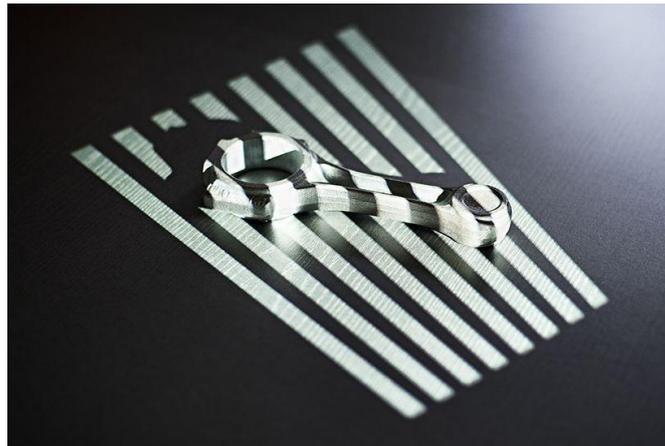


Figure I.6 : Scanner par balayage de lumière structurée

I.2.3 Les scanners sans contact passifs:

Les scanners sans contact passifs n'émettent aucun rayonnement ou lumière vers le sujet, ils ne font que détecter les réflexions des rayonnements ambiants (la lumière visible dans la plupart des cas). Ne nécessitant que des capteurs d'appareils photos ordinaires, ces solutions restent les moins coûteuses. Il existe différentes technologies de scan passif :

I.2.3.1 Photogrammétrie : Cette technologie était d'abord utilisée pour numériser des objets de grande taille, comme les constructions ou les bâtiments. Comme son nom l'indique, c'est une technique basée sur la prise de photos multiples de l'objet à scanner sous différents angles et en suivant une trajectoire précise ; les points communs sont ensuite référencés et identifiés dans chaque image, manuellement ou automatiquement.

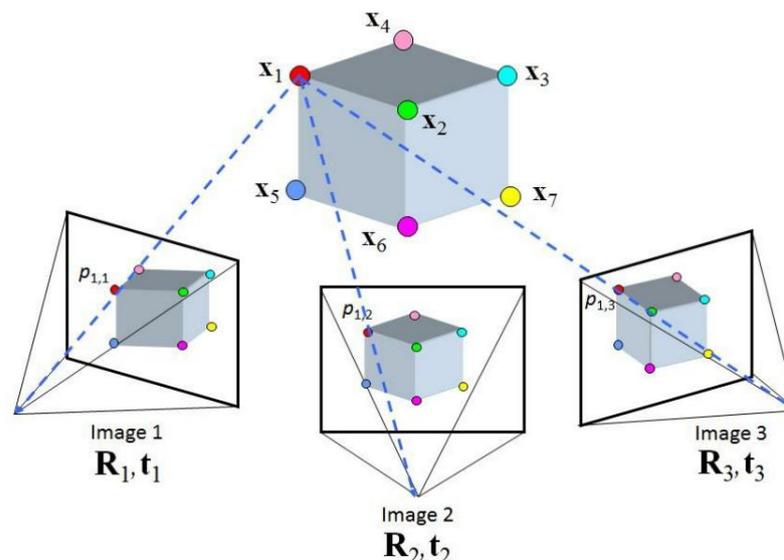


Figure I.7 : Photogrammétrie

I.2.3.2 Les scanners stéréoscopiques : Basé sur la vision humaine, ce type de scanner pointe deux caméras vidéos légèrement espacées vers le sujet. En analysant les petites différences

entre les images prises par chacune des caméras, il est possible de calculer la position de chaque point.



Figure I.8 : Scanners stéréoscopiques

I.2.3.3 Les scanners à silhouette : Cette technique consiste à prendre une série d'images du sujet contre un arrière-plan contrasté, d'où son nom. Un logiciel d'édition d'images permet ensuite de détacher les silhouettes du fond contrasté et de les réunir pour former un modèle 3D de la surface.

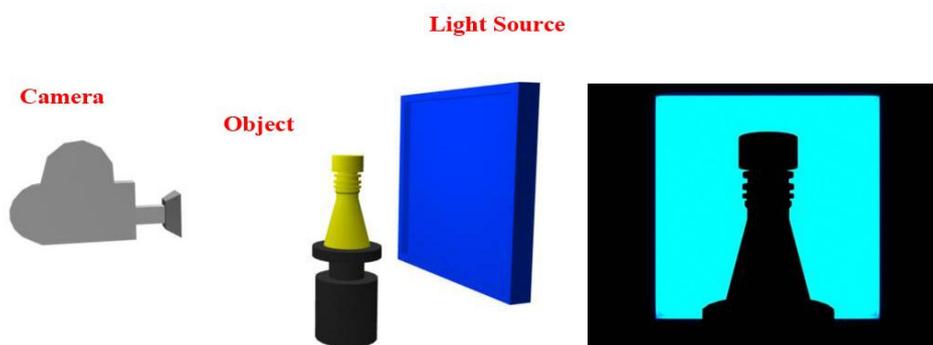


Figure I.9 : Scanners à silhouette

I.3 La machine à mesurer tridimensionnelle ou la MMT :

I.3.1 Aperçue historique :

Les machines à mesurer tridimensionnelles (MMT) sont nées au début des années soixante et se sont vraiment développées après l'invention du palpeur à déclenchement en 1970. Les principaux concepts qui régissent la mise en œuvre et l'exploitation de ces machines sont en place depuis le début des années quatre-vingt.

I.3.2 Principe général :

Une MMT est une machine à saisir et traiter de l'information. Un palpeur se déplace grâce à trois glissières de direction orthogonales et vient au contact des surfaces réelles.

Lors de chaque accostage, le calculateur mémorise les coordonnées X, Y et Z du centre de la sphère de palpation. Les points palpés permettent de déterminer une image de la surface réelle.

A partir de coordonnées saisies, le logiciel de traitement des données va effectuer des opérations mathématiques visant à rechercher les valeurs des dimensions ou des spécifications que l'on cherche à connaître ou à contrôler.

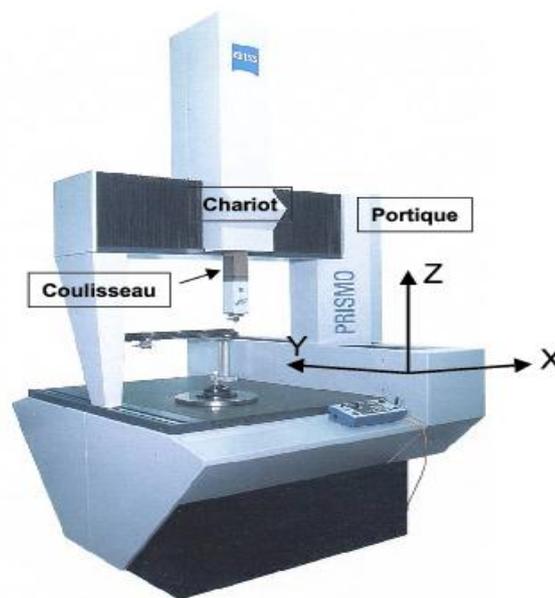


Figure I.10 : Machine de mesure tridimensionnelle

I.3.3 Dispositif de palpation :

Il existe deux types de têtes de palpation

- Les têtes de palpation dynamique : au moment du contact entre le palpeur et la surface palpée, se produit dans la tête une rupture de contact électrique qui déclenche l'ordre de lecture de la position de la sphère située à l'extrémité du palpeur (en coordonnées X, Y et Z).
- Les têtes de palpation statique : Le palpeur actionne trois capteurs internes à la tête, qui délivrent en continu des informations sur la situation de la partie active du palpeur. Ces informations permettent le pilotage des moteurs actionnant les différents mouvements de la machine et permettent donc un palpation en continu des surfaces.



Figure I.11 : Palpeur

I.3.4 Le bras articulé de mesure 3D :

La plupart des machines à mesurer tridimensionnelle (MMT) sont basées sur le système de coordonnées cartésiennes. Ils ont trois guidages orthogonaux pour construire un système de coordonnées cartésien. Toutes les coordonnées des points caractéristiques d'une pièce sont mesurées dans ce système de coordonnées. Les personnes sont habituées au système orthogonal de coordonnées dans leur vie quotidienne, ce qui facilite l'utilisation de ce système.

Lors de l'utilisation de systèmes de coordonnées cylindriques ou sphériques, les erreurs dans les mesures angulaires provoquent des incertitudes beaucoup plus grandes lorsque le point mesuré est loin de l'axe de rotation.

Cependant, avec le développement de la science et de la technologie de production, il existe de plus en plus de demandes de développement de systèmes de mesure de coordonnées non cartésiennes, principalement pour les raisons suivantes:

- De plus en plus de grands projets d'ingénierie nécessitent des mesures précises. Les composants importants de grande dimensions ne peuvent pas être mesurés par les MMT traditionnelles en raison de la difficulté et du coût élevé de la construction de tels machines et aussi de l'impossibilité de mettre ces objets sur une machine de mesure. Par conséquent, il est nécessaire de construire des systèmes de mesure non cartésiens, qui peuvent être utilisés sur site où sur un objet monté.
- Une MMT cartésienne doit avoir des guidages précis et des échelles plus longues que les pièces mesurées. Cela rend une MMT orthogonale très coûteuse. Les MMT à faible coût et portables sont souvent préférés dans ces situations.
- Avec l'augmentation de la vitesse de production, il existe une demande pour développer des systèmes de mesure légers et flexibles et des systèmes de mesure non cartésiens qui peuvent mieux répondre à ces exigences.

Les bras polyarticulés sont une des approches qui peuvent réaliser des mesures dans des systèmes de coordonnées non cartésiens.

D'une manière générale, la plupart des systèmes de mesure de coordonnées non cartésiennes ont une précision inférieure à celle des coordonnées cartésiennes. Les algorithmes de traitement de données sont plus compliqués, et des techniques d'étalonnage sont également nécessaires.

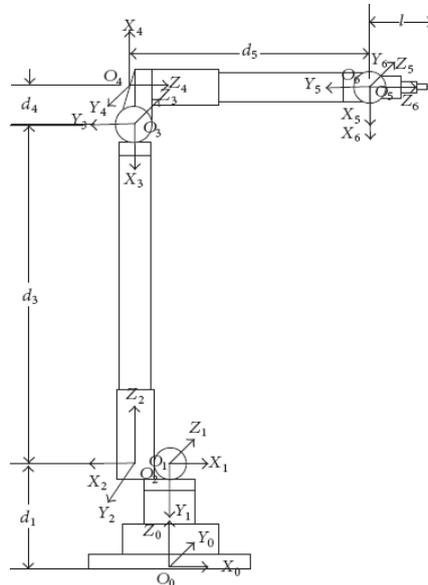


Figure I.12 : Architecture d'un bras articulé de mesure 3D

Sur le marché international, le bras articulé de mesure 3D le moins cher qu'on a pu trouver en ligne est le MicroScribe G2X. Il coûte 7489 \$ c'est-à-dire plus que 813493 Dinars Algérien.



Figure I.13: MicroScribe G2X

Le but de cette étude est de concevoir puis réaliser un bras articulé de mesure 3D à bas coût ayant le minimum de degrés de liberté.

CHAPITRE II

THEORIE

CHAPITRE II**THEORIE****II.1 Introduction**

Les bras polyarticulés sont une des solutions technologiques qui peuvent réaliser des mesures dans des systèmes de coordonnées non cartésiens.

Le bras polyarticulé de mesure 3D se compose de plusieurs joints articulés équipés de capteurs angulaires. La rotation de chaque joint autour d'un seul axe fournit un degré de liberté. En conséquence, le système peut avoir plus de six degrés de liberté (si on compte 3 rotations possibles par articulation). Mais, en raison de la difficulté de monter les capteurs d'angles qui tournent autour de plusieurs axes mutuellement perpendiculaires, la plupart des joints n'offrent qu'une rotation autour d'un seul axe.

Si une chaîne polyarticulée est définie par un nombre fini de joint de longueurs fixes connues, on peut à tout moment connaître la position dans l'espace de son extrémité en connaissant les angles que font ses articulations avec le repère. Le principe du bras de mesure étudié est basé sur l'acquisition des données relatives aux angles des joints par des composants électroniques (potentiomètres) pour les traiter par les techniques de la robotique.

Bien qu'un bras de mesure ne soit pas un robot, il obéit aux mêmes règles. Dans ce chapitre nous allons utiliser les techniques mathématiques utilisées aux robots manipulateurs pour l'étude du bras polyarticulé.

II.2 Chaines Articulées :

Les chaînes articulées se composent de joints considérés rigides, reliés par des articulations qui permettent un mouvement relatif des joints voisins.

Elles peuvent être en série (sérielles), parallèle ou hybride, et ouvertes ou fermées (figure II.2).

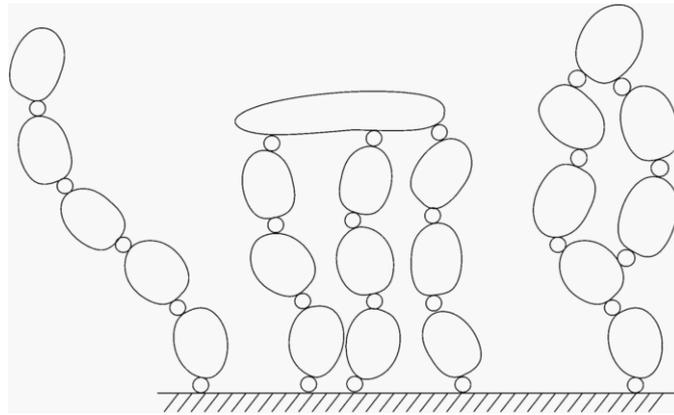


Figure II.1 : Chaîne en série, parallèle et hybride

Les robots manipulateurs ainsi que les bras de mesure polyarticulés font souvent partie du type : chaînes articulées sérielles ouvertes (le manipulateur Delta est une des exceptions).

II.3 Nombre de degré de liberté :

Le nombre de degrés de liberté qu'un manipulateur possède est le nombre de variables de positions indépendantes qui devraient être spécifiées pour localiser toutes les parties du mécanisme.

Pour la détermination du nombre des degrés de liberté (appelé aussi Mobilité) d'un mécanisme plan, la règle la plus utilisée est celle proposée par Grübler.

Dans le cas d'un bras articulé qui est une chaîne cinématique ouverte, et parce que chaque position de l'articulation est généralement définie avec une seule variable, le nombre d'articulations est égal au nombre de degrés de liberté [9].

Le palpeur se positionne à l'extrémité libre de la chaîne de joints qui composent le bras articulé. Nous décrivons la position du palpeur en décrivant la structure du bras par rapport à la base, immobile.

Le problème géométrique statique du calcul de la position et de l'orientation du palpeur sur la base des angles des articulations s'appelle une cinématique directe (avancée) en anglais Forward Kinematics.

II.3 Types d'articulations

Une articulation lie deux corps successifs en limitant le nombre de degré de liberté de l'un par rapport à l'autre. Soit m le nombre de degré de liberté, encore appelé mobilité de l'articulation. Le nombre des degrés de liberté d'une articulation est telle que :

$$0 \leq m \leq 6 \quad (6 : 3 \text{ translations et } 3 \text{ rotations})$$

Lorsque $m = 1$; ce qui est le cas de toutes les articulations du bras polyarticulé étudié, l'articulation est dite simple : soit rotoïde, soit prismatique.

II.3.1 Articulation rotoïde : Il s'agit d'une articulation de type pivot, notée R, réduisant le mouvement entre deux corps à une rotation autour d'un axe qui leur est commun. La situation relative entre les deux corps est donnée par l'angle autour de cet axe.



Figure II.2 : Symbole de l'articulation rotoïde

II.3.2 Articulation prismatique : Il s'agit d'une articulation de type glissière, notée P, réduisant le mouvement entre deux corps à une translation le long d'un axe commun. La situation relative entre les deux corps est mesurée par la distance le long de cet axe.



Figure II.3 : Symbole de l'articulation prismatique.

II.4 Morphologie des robots manipulateurs

Pour les chaînes ouvertes simples on ne considère que 2 paramètres : le type d'articulation (rotoïde (R) ou prismatique (P)) et l'angle que font deux axes articulaires successifs (0° ou 90°) sauf cas très particulier, les axes consécutifs d'un robot sont soit parallèles, soit perpendiculaires).

Sont schématisées dans la figure qui suit les 12 morphologies possibles (ces morphologies sont non redondantes (on élimine a priori les structures limitant les mouvements du porteur à des déplacements linéaires ou planaires : 3 liaisons prismatiques d'axes parallèles, par exemple, ou 3 liaisons rotoïdes d'axes parallèles)).

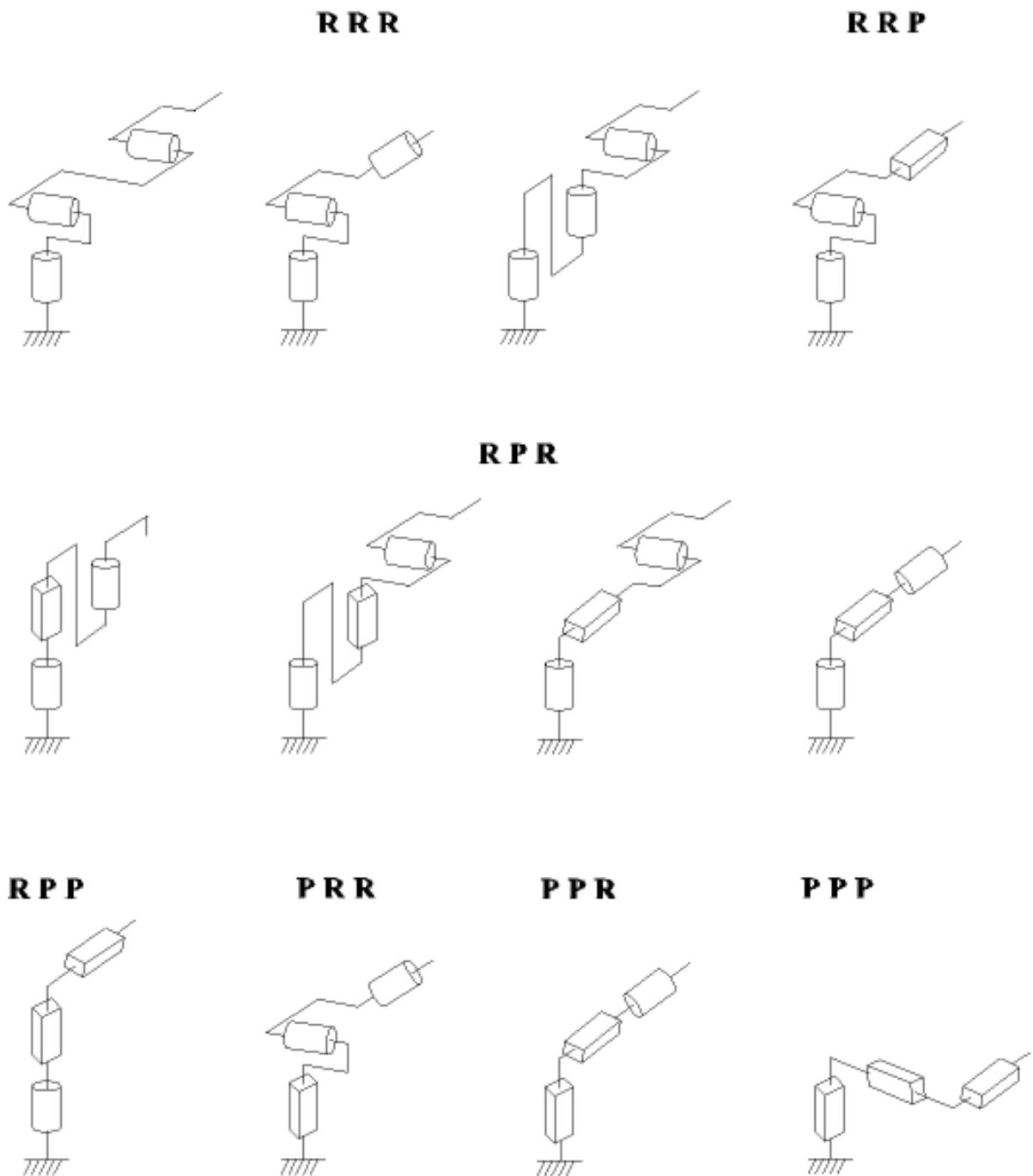


Figure II.4 : morphologies possibles

Le bras polyarticulé de mesure 3D étudié est d'une morphologie RRRRR, son schéma cinématique est représenté sur la figure II.5

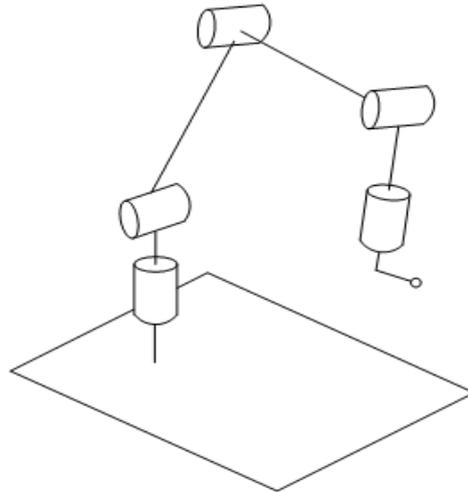
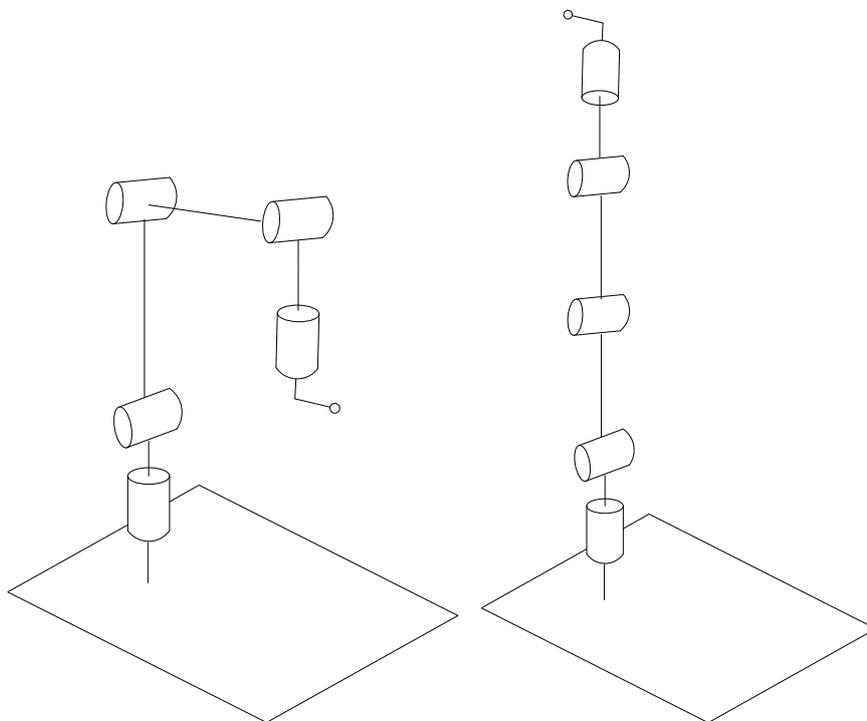


Figure. II.5 : Schéma cinématique du Bras Polyarticulé 3D

II.5 La position de référence :

Pour extraire les paramètres du bras de mesure pour le calcul cinématique, on a besoin de définir une position de référence. Les positions de références les plus utilisées sur les robots de type bras manipulateurs, sont la position Γ ou la position I. Dans notre étude nous allons adopter la position Γ .



FigureII.6 : La position Γ (à gauche) et la position I (à droite).

II.6 La résolution du problème cinématique direct

L'installation électronique sur le bras de mesure sert à l'acquisition des valeurs des résistances délivrées par les potentiomètres installés sur chaque articulation. Les longueurs des joints étant fixes, le calcul cinématique peut être effectué dès que les valeurs des résistances sont converties en angles de rotation des différents joints.

Le calcul cinématique direct est effectué sur Matlab en utilisant la Robotics Toolbox développée par Peter Corke [10].

La Toolbox utilise une méthode très générale pour représenter la cinématique et la dynamique des manipulateurs en série. Les objets robots peuvent être créés par l'utilisateur pour n'importe quel manipulateur sériel. Un certain nombre d'exemples sont fournis pour des robots bien connus comme le « Puma 560 » et le « Stanford Arm »

La Toolbox prend également en charge les robots mobiles avec des fonctions pour les modèles de mouvement de robot, les algorithmes de planification de chemin et autres.

Les avantages de la boîte à outils sont les suivants:

- Le code est mûr et fournit un point de comparaison pour d'autres implémentations des mêmes algorithmes.
- Les routines sont généralement écrites de manière simple, ce qui permet une compréhension facile.
- Étant donné que le code source est disponible, il existe un avantage pour la compréhension et l'enseignement.

II.7 Paramètres de Denavit-Hartenberg

La convention, ou notation, de Denavit-Hartenberg permet de caractériser la position relative de deux solides avec seulement quatre paramètres (au lieu de six). En robotique, on rencontre en fait deux définitions qui diffèrent légèrement :

1. La convention de Denavit-Hartenberg, qui fut introduite en 1955, par Jacques Denavit et Richard S. Hartenberg.
2. La convention de Denavit-Hartenberg modifiée, appelée aussi convention de Khalil-Kleinfinger, qui est utilisée et recommandée depuis 1986.

Les deux notations sont couramment utilisées pour la modélisation des chaînes cinématiques constituées par des corps solides reliés entre eux par des articulations rotoïdes (pivots) ou prismatiques (glissières). Pour chaque articulation on peut définir l'axe de sa liaison et sa variable articulaire.

La Robotics Toolbox de Peter Corke permet la création d'objet robots sur la base des paramètres de Denavit-Hartenberg de ses joints.

Les paramètres Denavit-Hartenberg du bras de mesure étudié seront donnés au chapitre suivant après l'exposé des différentes itérations de la conception.

CHAPITRE III

CONCEPTION ET REALISATION

CHAPITRE III

CONCEPTION ET REALISATION

III.1 Conception :

Le rôle du bras polyarticulé ne peut être assuré que s'il est capable d'atteindre tous les points sur la surface de la pièce traitée. Pour assurer cela, nous allons dans ce chapitre exposer les cycles à travers lesquels la conception a été élaborée, affinée et testée, dans ce qui est appelé une conception itérative.

III.1.1 Configuration 1 (RRR) :

Commençons par une géométrie relativement simple : une surface ondulée quasi-planaire

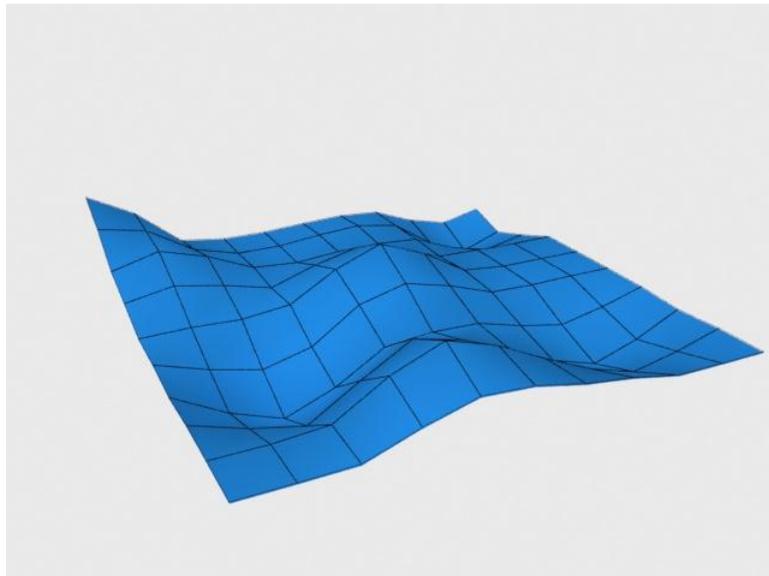


Figure III.1 : Géométrie à analyser quasi-planaire

Pour analyser une telle pièce le palpeur du bras doit pouvoir se déplacer dans les trois directions : X, Y et Z. l'orientation du palpeur n'a pas beaucoup d'influence sur la mesure.

Pour fournir les trois déplacements à son palpeur, le bras doit avoir au moins trois degrés de liberté.

L'indisponibilité d'un dispositif de mesure en translation nous oblige à n'utiliser que des articulations rotoïde. La configuration la plus évidente est celle représentée sur la figure III.2.

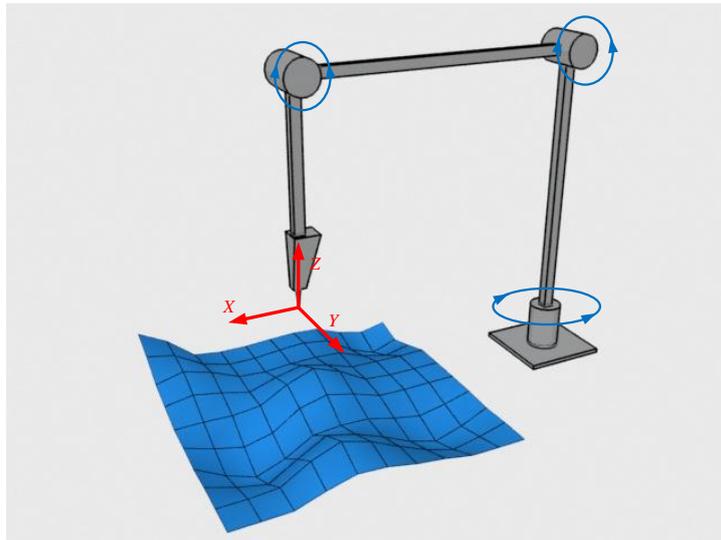


Figure III.2 : Configuration 1 RRR

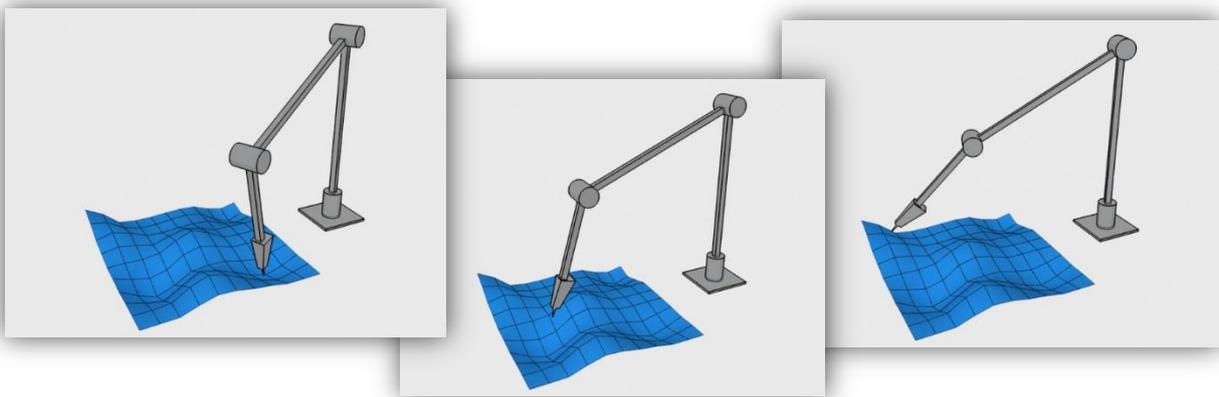


Figure III.3 : Les possibilités offertes par la configuration 1 RRR

III.1.2 Configuration 2 (RRRR) :

Avec la même configuration 1 (RRR) essayons d'analyser la pièce sur la figure III.

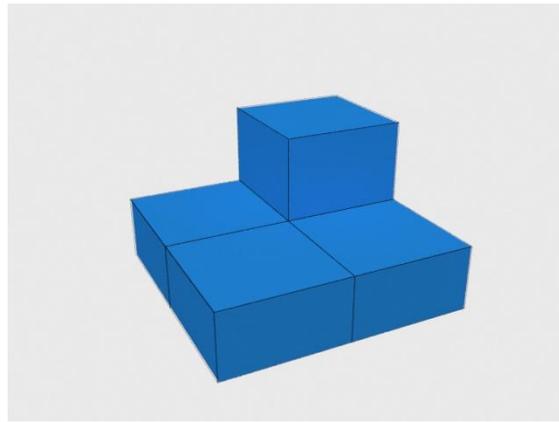


Figure III.4 : Pièce 2

Bien que la pièce soit simple, le palpeur n'arrivera pas à atteindre les faces latérales indiquées en rouges sur la figure III.5

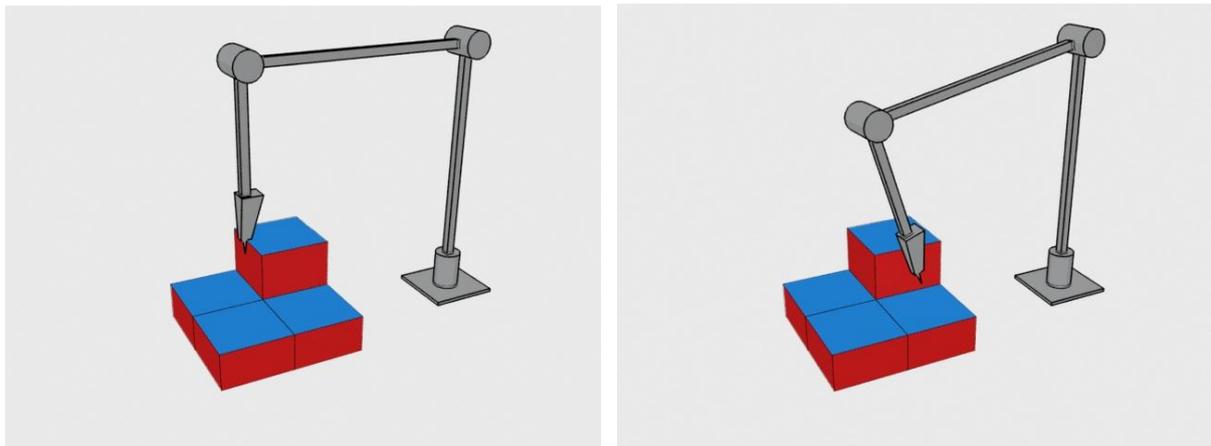


Figure III.5 : Problème d'accessibilité de la configuration RRR

Ceci est dû d'un côté à l'épaisseur du joint 3 qui est supérieure à celle du palpeur et d'un autre côté à l'absence de la possibilité d'orientation le palpeur.

L'ajout d'un degré de liberté passe obligatoirement par l'ajout d'une articulation supplémentaire [7].

Il y a beaucoup de possibilités pour ajouter une articulation. Sur la figure III.6 on en montre 4 parmi les plus évidentes.

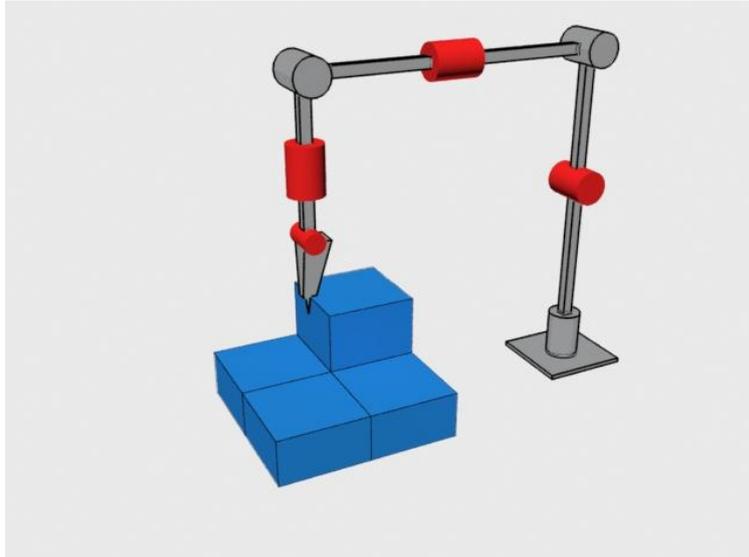


Figure III.6 : Possibilités d'articulations supplémentaires

Cependant sur la figure III.7 on peut voir que l'ajout d'une seule articulation ne résout qu'une partie du problème, voir aucune.

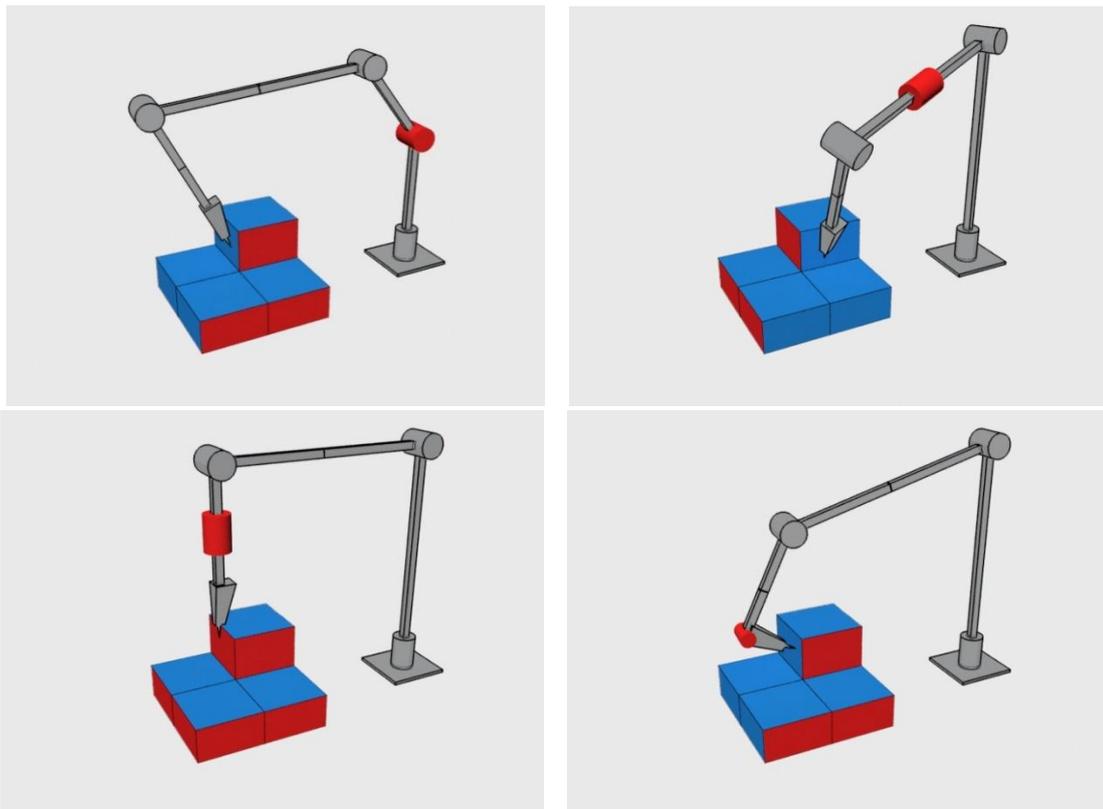


Figure III.7 : Problème d'accessibilité pas entièrement résolu

III.1.3 Configuration 3 (RRRRR) :

Il est clair que le bras a besoin d'une nouvelle articulation. Mais il y a plusieurs combinaisons possibles.

Après plusieurs simulations nous avons trouvé que les configurations sur les figures III.8 et III.9 sont les plus intéressantes.

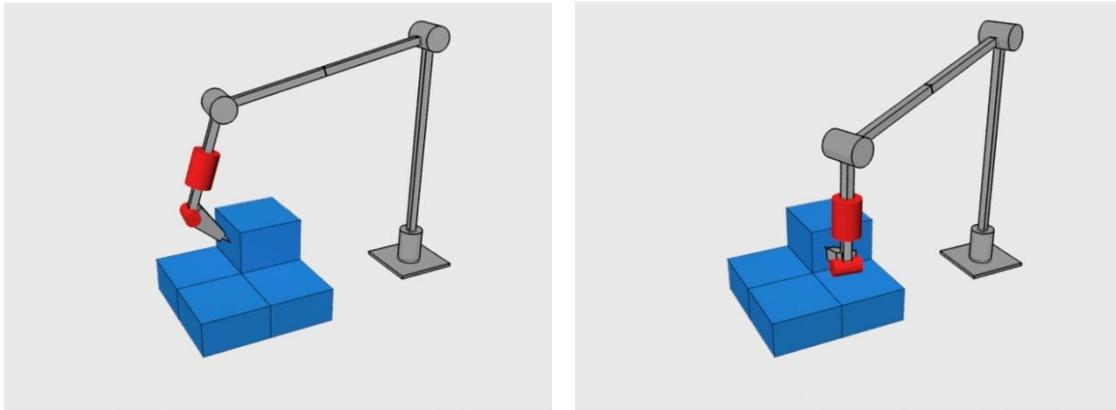


Figure III.8 : Combinaison 1 en configuration RRRRR sans redondance

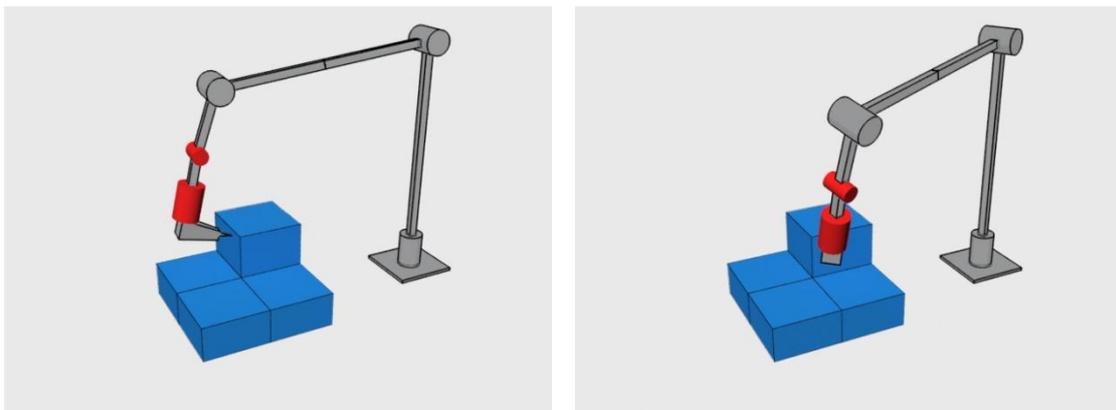


Figure III.9 : Combinaison 2 en configuration RRRRR avec redondance rotoïde

III.2 Dimensionnement

Le principe de fonctionnement du bras étudié est basé sur la mesure du mouvement angulaire des articulations. Comme capteur de mouvement de rotation nous avons choisi la solution la moins cher sur le marché qu'est le potentiomètre, pour des raisons évidentes.

En termes de choix de dimensions du capteur, les possibilités sont extrêmement limitées. Les potentiomètres à prix abordable ont des dimensions presque identiques.

Ceci présente la contrainte dimensionnelle la plus sévère. Alors on a commencé le dimensionnement à partir du capteur.

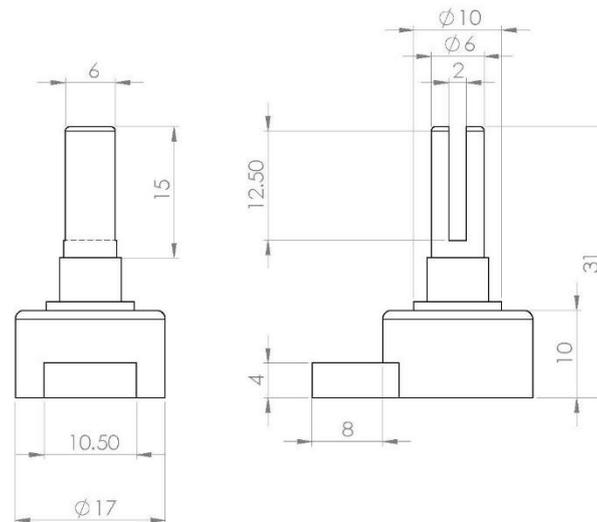


Figure III.10 : Dimensions du capteur à résistance variable

Les dimensions du capteur ont de l'influence sur tout le mécanisme :

- à partir de la poche qui doit le loger,
- en passant par les roulements à travers lesquels il doit passer
- et les axes qui vont serrer sa tige
- en arrivant aux épaisseurs des articulations qui doivent contenir tout cela

III.2.1 Les roulements de guidage

La tige du capteur doit être connectée serrée ou bloquée à la tige (axe) de l'articulation pour faire la lecture du mouvement rotatif. La tige de l'axe doit avoir un diamètre supérieur à 6 pour pouvoir être percée. Un diamètre de 10 mm a été adopté pour toutes les tiges des articulations.

Ceci rend la valeur du diamètre de la bague intérieure des roulements évidente. Les roulements à bille que nous avons pu se procurer ont un diamètre intérieur de 10mm et un diamètre de bague extérieure 26mm.

Le processus est suivi pour le dimensionnement de toutes les articulations y compris celle lié à la base.

Le seul élément dont les dimensions sont sans contraintes lié au capteur est les joints entre les articulations. Nous avons choisi les proportions entre les joints de telle sorte qu'ils donnent une assez bonne accessibilité aux pièces traitées. Mais la longueur de référence celle du deuxième joint (le plus long,) est choisies arbitrairement puisqu'on n'a aucune idée sur la pièce qui va être analysée.

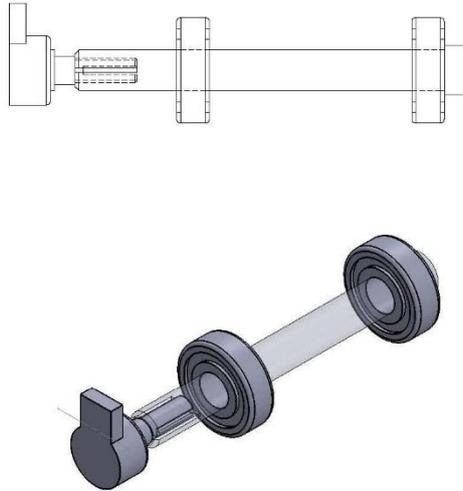


Figure III.11 Système de guidage connecté au capteur

III.3 Choix des matériaux :

Au début, on voulait construire le bras articulé en plastique dur pour sa légèreté. Mais vu la non disponibilité des moyens techniques pour le traiter (fusion et moulage) on a pensé à la résine, pour la facilité de son traitement et ses qualités mécaniques.

Le problème avec la résine c'est qu'elle est très chère, alors on s'est tourné vers le bois. Le bois est léger et il n'est pas cher, il est facile à traiter mais il se dégrade durant le travail mécanique.

Avec l'aide de l'équipe de l'atelier d'usinage du hall de technologie de notre université nous avons opté définitivement pour l'aluminium pour les pièces supérieures et l'acier pour les pièces inférieures.

L'aluminium est assez dur pour le travail que le bras va effectuer et assez léger pour le rendre maniable. Son usinage est relativement facile et comme matière première on a pu en procurer des dizaines de kilogramme depuis les déchets des ateliers de menuiserie d'aluminium de la ville.

La parties inférieures (Base et Premier joint) sont faite en acier pour donner plus de stabilité au bras et pour créer un contrepoids qui fait retourner le bras à sa position de repos.

L'idée du contrepoids n'a pas réussi car le poids des parties supérieures estimé à base de plastique est devenu trop important en utilisant l'aluminium plein.

Après plusieurs tentatives on a abouti à la solution qui utilise un vérin pneumatique pour jouer le rôle d'un ressort de retour.

Les joints entre les articulations sont faits de PVC de plomberie. Le PVC est relativement léger, facile à couper si une modification de longueur de joint est requise, et sa résistance mécanique et thermique le rend très intéressant.

En fin, le logement des capteurs est précédé par l'injection de silicone pour les isoler des pièces métalliques, tout en permettant la possibilité de les enlever en cas de besoin de maintenance.



Figure III.12 La configuration géométrique du Bras

III.4 Réalisation (Partie Mécanique) :

III.4.1 La base :

Pour permettre aux roulements et aux potentiomètres d'être facilement montés et démontés, la base du bras a été conçue pour être composée de plusieurs parties démontables au lieu d'une seule pièce soudée.

Elles sont faites en acier pour avoir plus de poids pour stabiliser le bras et le fixer à son origine.

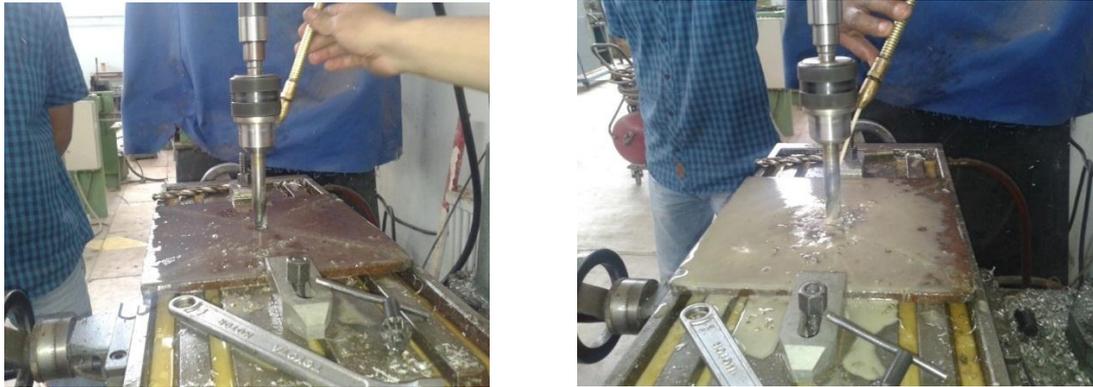


Figure III.13 : perçage de la base pour créer la poche du potentiomètre

La deuxième partie (cylindrique) contient deux roulements de guidage pour l'articulation verticale.



Figure III.14 : Deuxième partie de la base en acier fixée par des 4 vis-écrous



Figure III.15 : Traitement de surface par Tournage et Perçage de la Partie cylindrique de la base

La position au repos du bras a été conçue pour être verticale. Le retour du bras à cette position est réalisé à l'aide d'un contrepoids de forme parallélépipédique en acier plein.



Figure III.16 : Sectionner le contre poids en acier par la scie mécanique



Figure III.17 : Perçage du contrepoids pour loger l'axe de liaison en rotation avec le troisième joint



Figure III.18 : Le système du contrepoids installé sur le joint en U par un axe en Bronze et deux roulements de guidage

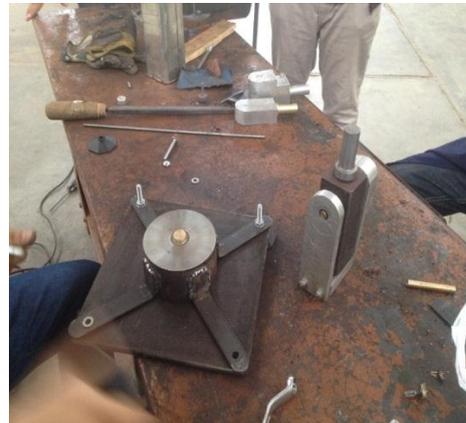


Figure III.19 : Le premier joint de la chaîne articulée est composé d'un assemblage de 3 pièces en Aluminium sous forme d'un U



Figure III.20 : Le premier et le deuxième joint

III.4.2 Les articulations supérieures :**Figure III.21 :** Fusion et moulage des pièces en Aluminium**Figure III.22 :** Pièces moulées en Aluminium**Figure III.23 :** Traitement de la forme générale manuellement par scie à métaux**Figure III.24 :** Pièces qui commencent à prendre forme



Figure III. 25 : Usinage de surfacage de la pièce par fraisage



Figure III.26 : Création de la forme ronde

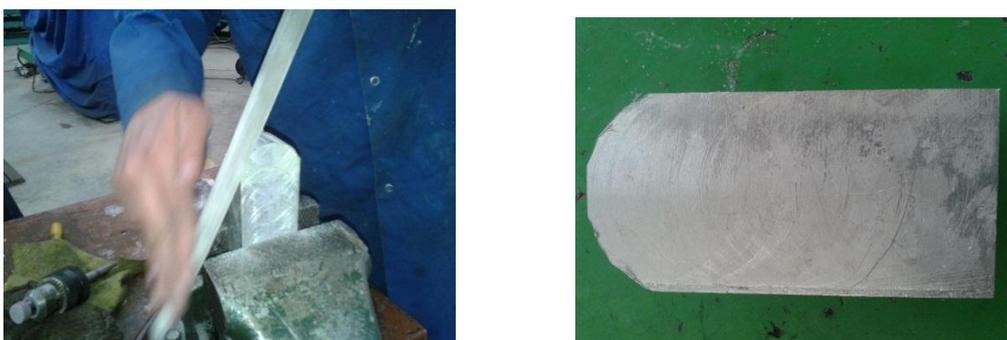


Figure III.27 : Finition de la forme ronde manuellement



Figure III.28 : Quelques défauts de réalisation



Figure III.29 : Tournage de l'axe du 6^{ème} joint



Figure III.30 : Les pièces en Aluminium et bronze semi-finies



Figure III.31 : Tournage de la loge du roulement de guidage



Figure III.32 : Perçage des loges du roulement, des alésages et du passage des vis

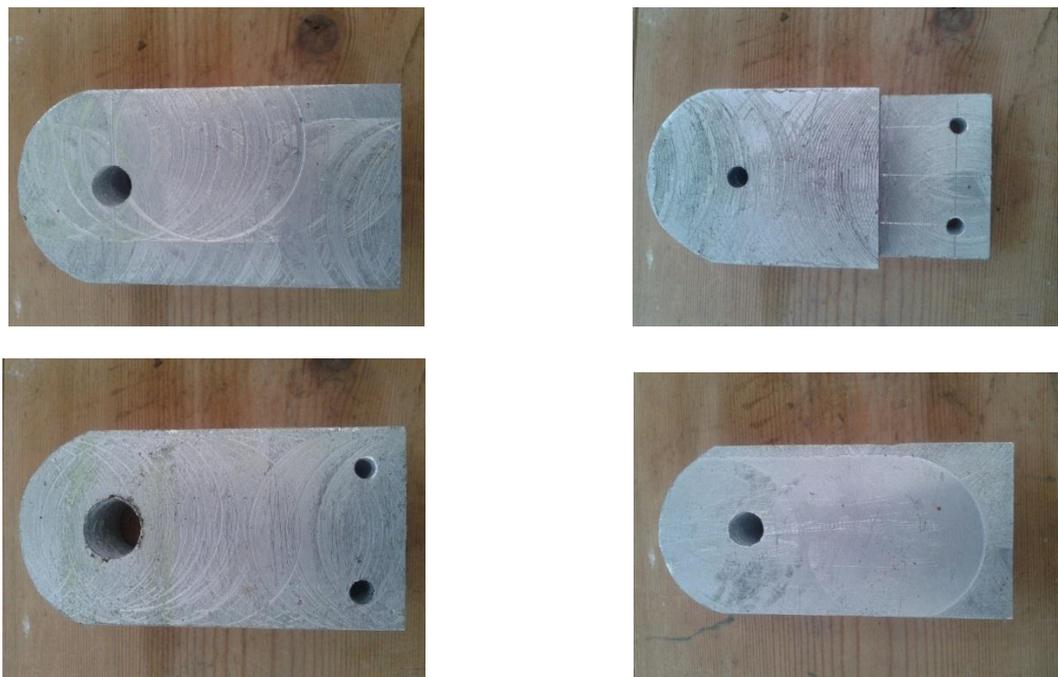


Figure III.33 : Pièces Percées



Figure III.34 : Erreur de définition de diamètre commise pendant le perçage de la loge du roulement, corrigée par l'insertion d'une bague



Figure III.35 : Articulations assemblées (à gauche), et montées avec les joints en PVC (à droite)

Le montage sur la figure III.36 montre que le contrepois en acier n'a pas réussi à faire revenir les parties supérieures à la position du repos.



Figure III.36 : Le bras monté



Figure III.37 : Proportions du bras par rapport à l'opérateur

III.5 Réalisation de la partie électronique :

Le circuit d'acquisition électronique est composé d'un microcontrôleur Arduino Uno (basé sur le ATmega328P), de cinq potentiomètres de 100 k Ω , d'un bouton poussoir qui peut être installé seul ou avec une résistance pour le filtrage et de 17 fils de connexion souples. Le Schéma électronique est présenté sur la figure III.38.

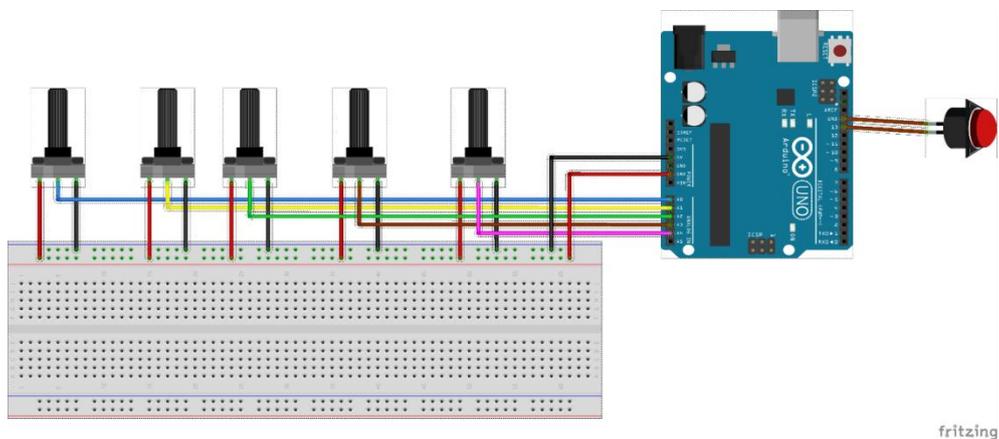


Figure III.38 : Schéma électronique

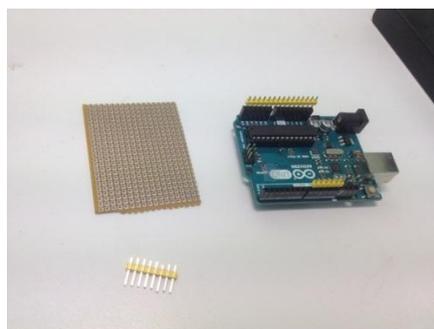


Figure III.39 : Arduino Uno et plaque d'essai CL

Le choix de la résistance des potentiomètres doit être pris avec prudence. Le courant tiré de l'Arduino par chaque potentiomètre est inversement proportionnel à la sa résistance. En langage plus simple ; plus en augmente la résistance moins on risque d'endommager l'Arduino.

Le phénomène est amplifié lorsqu'on utilise plusieurs résistances en parallèle.



Figure III.41 : Montage de l'Arduino et la plaque d'interface sous forme de bouclier (Shield)



Figure III.42 : Câblage, trois fils de chaque potentiomètre

III.6 La partie informatique :

Le rôle de l'Arduino se résume en l'acquisition des valeurs analogiques brutes des potentiomètres et de les transférer via USB, plus l'état du bouton poussoir s'il est fermé ou ouvert.

Pour plus de performance, aucun calcul n'est effectué sur l'Arduino. Pour cela, nous avons utilisé ArduinoIO. C'est une solution informatique qui fait communiquer le microcontrôleur (Arduino) et l'ordinateur de traitement pour effectuer des entrées et des sorties analogiques et numériques à partir de Matlab.

Cette solution vient en deux parties ; un programme en langage Arduino qui s'installe sur la carte, et un script Matlab à exécuter sur PC.

En ce qui concerne la partie calcul cinématique nous avons utilisé The Robotics Toolbox par Peter Corke. Un module très puissant qui crée des objets bras articulés avec beaucoup de méthodes : tel que le calcul de la cinématique directe, cinématique inverse, plot 3D...

Une boucle infinie se déroule sur l'Arduino pour lire les états des 5 potentiomètres ainsi que le bouton poussoir et les transférer à Matlab à travers le port-série.

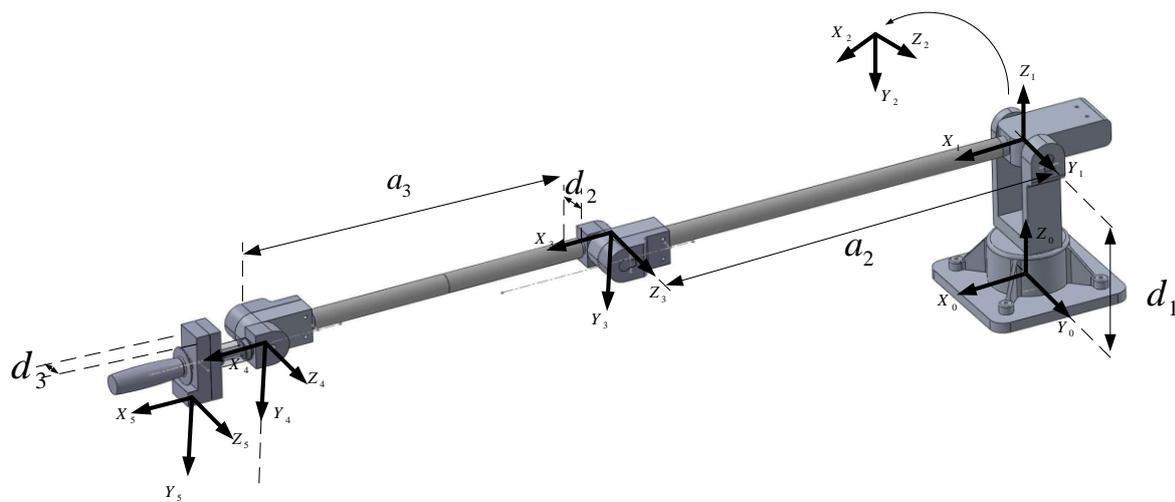


Figure III.43 Schéma de définition des paramètres de la notation Denavit-Hartenberg

On a écrit deux scripts Matlab :

Un script « **Metrolog.m** » qui écoute le port série chaque intervalle de temps à définir par l'utilisateur au lancement, et enregistre les coordonnées du point sur lequel le palpeur pointe au moment où l'utilisateur actionne le bouton poussoir sur le bras. Les coordonnées enregistrées sont affichées et le script continue sans rien afficher à attendre le deuxième clique sur le bouton pour qu'il affiche les coordonnées du deuxième point et la distance qui les sépare, et réinitialise la tâche à nouveau. Il fonctionne par couple de points.

Le deuxième script « **Nuage3D.m** » écoute le port série chaque intervalle de temps à définir aussi par l'utilisateur au lancement, et enregistre les coordonnées de tout les points sur lequel le palpeur pointe au moment où l'utilisateur actionne le bouton poussoir sur le bras. Le nombre des points n'est limité que par les capacités de l'ordinateur de traitement et celle de Matlab. Un fichier est ouvert pour l'écriture des coordonnées enregistrées dans l'ordre x, y, z en format *.scv.

Le fichier créé dans le dossier courant peut être utilisé par une application de génération de maillage (géométrie) pour créer une réplique numérique 3D de la pièce analysée. Le plus connu de ce type d'application est le logiciel open source Meshlab.

Une démonstration du fonctionnement du système complet peut être trouvée sur le DVD qui accompagne ce mémoire.

Conclusion Générale

CONCLUSION

Dans cette étude pluridisciplinaire mécano-électro-informatique nous avons exposé le problème qui se pose lors de la rétro-ingénierie en mécanique. Nous avons cité, avec quelques explications, les différentes solutions technologiques disponibles dans le marché pour résoudre le problème de l'acquisition de données géométriques des pièces mécaniques. Ensuite nous avons justifié le choix du bras de mesure 3D polyarticulé comme la solution optimale surtout par rapport aux MMT traditionnelles.

La théorie sur laquelle le développement du bras a été basé est discutée d'un point de vue mécanique en cinématique directe (Forward Kinematics).

Le dernier chapitre commence par la discussion des différents cycles de la conception itérative, ainsi que les contraintes limitant les dimensions du bras. La conclusion tirée de cette partie est que le nombre de degrés de liberté dépend de la complexité de la pièce à analyser. Pour une meilleure accessibilité le nombre des degrés de liberté minimum est cinq. Les configurations des différentes articulations sont diverses et varient beaucoup en efficacité. Les procédés de fabrication mécaniques utilisés pour la réalisation ont été illustrés avec quelques défauts et erreur de fabrication. L'échec de la solution par contrepoids pour faire retourner le bras à sa position de repos ainsi que la solution alternative (utilisant un vérin pneumatique comme ressort) ont aussi été discutées. Le chapitre est conclu par une discussion sur l'installation électronique et l'aspect logiciel du projet.

Nous avons rencontré beaucoup de problèmes durant le développement de ce projet et nous les avons exposés pour qu'ils soient évités dans une étude de continuité future.

Nous pouvons aussi recommander pour améliorer la précision de remplacer les potentiomètres par des capteurs optiques. En termes de cout et de disponibilité, ces capteurs peuvent être récupérés des anciennes imprimantes et photocopieurs. Ils peuvent être plus précis que les potentiomètres et moins encombrant ce qui a une influence direct sur les dimensions du bras en entier. Cependant, l'inconvénient de leur utilisation est la nécessité de la calibration du bras à chaque lancement.

Nous recommandons aussi l'utilisation de la résine bien qu'elle soit plus chère. Le cumul des pièces en Aluminium fini par devenir trop lourd et risque même d'affecter la précision de la capture des angle premières articulations.

Références Bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Ali Kamrani & Emad Abouel Nasr, «Rapid Prototyping: Theory and Practice», Springer, 2006.
2. Bernard BAYLE, « Introduction à la Robotique », Université Louis Pasteur de Strasbourg, IUP Technologies Avancées des Sciences du Vivant, 2004–2005.
3. Boudaouine Fahd et al, « Comment choisir le moyen de mesure adapté dans le domaine dimensionnel ? », 16^{ème} International Congress of Metrology.
4. Fekria Romdhani et al, « Methodology for the assessment of measuring uncertainties of articulated arm coordinate measuring machines », Measurement Science and Technology, 25 (2014).
5. Graham T. Smith, « Machine Tool Metrology an Industrial Handbook », Springer International Publishing Switzerland 2016.
6. Guanbin Gao et al, « Structural Parameter Identification of Articulated Arm Coordinate Measuring Machines », Mathematical Problems in Engineering Volume 2016, Hindawi Publishing Corporation, September 2016.
7. John J. Craig, « Introduction to Robotics Mechanics and Control », 3^{ème} Edition, 2005, Pearson Education International.
8. Matthieu Dujardin, « Le scanner laser 3D : reconnaissance de formes et modélisation de déformations », Ecole Supérieure Des Géomètres Et Topographes, France, 2013.
9. Peter I. Corke, « A simple and systematic approach to assigning Denavit-Hartenberg parameters », Journal of Latex Class Files, vol. 1, no. 11, November 2002.
10. Peter I. Corke, « Robotics, Vision & Control », Springer, 2017.
11. Robert J. Hocken & Paulo H. Pereira, « Coordinate Measuring Machines and Systems », Second Edition, CRC Press Taylor & Francis Group, 2012
12. Salam ALI, « La rétro-conception de composants mécaniques par une approche concevoir pour fabriquer », thèse, Université de Technologie de Troyes, France 2015.
13. Tania Landes Et Pierre Grussenmeyer, « Les principes fondamentaux de la laser-grammétrie terrestre : systèmes et caractéristiques », Revue XYZ, N° 128 – 3^{ème} trimestre 2011.

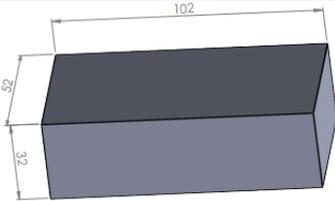
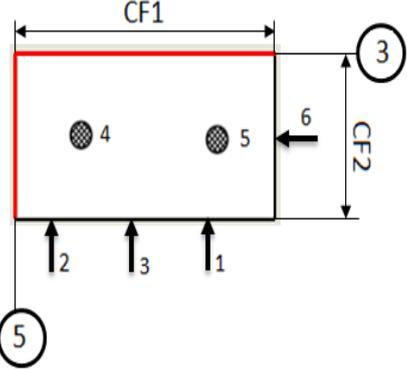
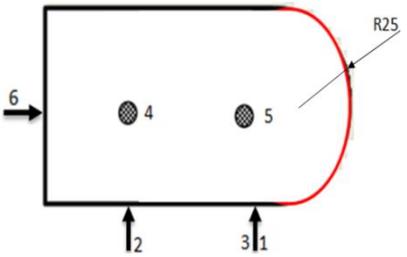
Annexe

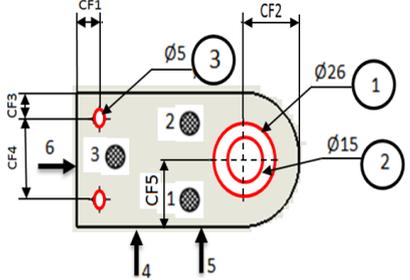
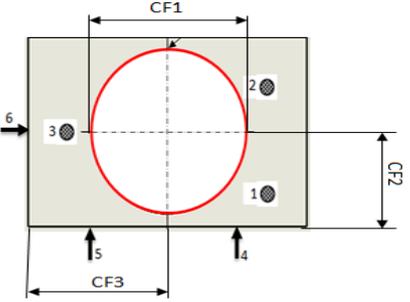
ANNEXE

1-DONNÉES DE PRODUCTION

2.1. Données pièce	2.1.1. Matériau	Alliages d'aluminium Al 10160
	2.1.2. Origine du brut	Moulage en gabarie non permanent
	2.1.3. Surépaisseur usinage	2 mm
	2.1.4. Eléments du brut	Rectangulaire 120*70
2.2. Données production	2.2.1. Type de série	Unité
	2.2.2. Nombre de pièce	2
	2.2.3. Cadence	/
	2.2.4. Délais	/
2.3. Données atelier	2.3.1. Machines-outils	Fraiseuse verticale FV perceuse
	2.3.2. Outillage de coupe	Fraise cylindrique 2T en Ø50x45 Foret Ø15 et Ø10 et 5 Ø Fraise Ø26 et 20Ø
	2.3.3. Outillage de contrôle	- Pied à coulisse 1/10

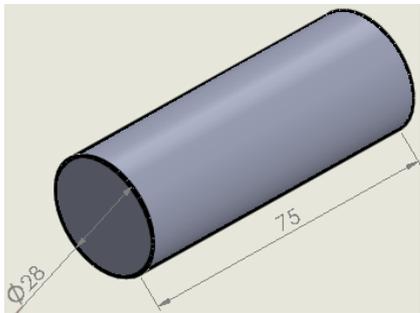
GAMME D'USINAGE

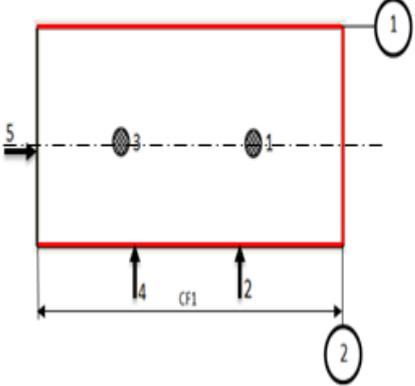
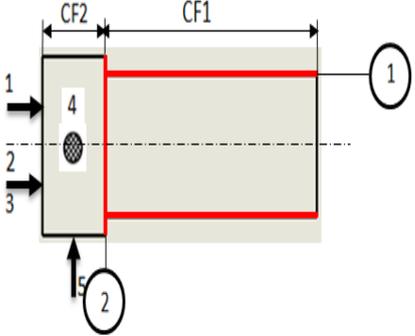
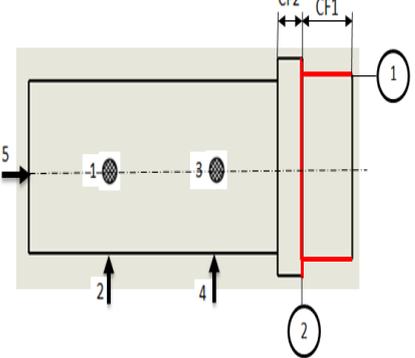
Ensemble:		Nombre: 2 Matière: Alliages d'aluminium 10160			N° pièce 1
N°	Désignation des phases s/phases et opérations	M.O	appareils et outillages	Contrôle	Schémas
100	Contrôle du Brut Brut de moulage 102X52X32			Réglet	
200	Fraisage : - finition de la surface Référentiel de mise en position défini par : - appui plan (1,2et3) sur[B1] - appui linéaire (4,5) sur [B2] -appui ponctuel (6) sur [B4] 201: surfaçage de 3 en finition CF2=30 202: surfaçage de 5 en finition CF1=100 Rugosité RA= 6.3	Fraiseuse FV	Fraise cylindriqu e 2T en Ø50x45	Pied à coulisse	
300	Fraisage : - finition de la surface Référentiel de mise en position défini par : - appui plan (1,2et3) sur [1] - appui linéaire (4,5) sur [2] -appui ponctuel (6) sur [3] 301 : arrondi de R25 Rugosité RA= 6.3	Fraiseuse FV	Fraise cylindriqu e 2T en Ø50x45		

<p>400</p>	<p>Perçage : Référentiel de mise en position défini par : - appui plan (1,2et3) sur [4] - appui linéaire (4,5) sur [5] -appui ponctuel (6) sur [6] 401 : perçage de 3 en finition CF5=5 Ø CF1=10 CF3=10 CF4=30 402 : perçage de 1 et 2 en finition CF5=25 CF2=25 CF6=15 ØX29 CF7=26 ØX8 Rugosité RA= 6.3</p>	<p>Fraiseuse FV</p>	<p>Fraise Ø26 Foret Ø5 Foret Ø15</p>	<p>Pied à coulisse</p>	
<p>500</p>	<p>Perçage : Référentiel de mise en position défini par : - appui plan (1,2et3) sur [2] - appui linéaire (4,5) sur [3] -appui ponctuel (6) sur [4] 501 : perçage de 1 en finition CF1=20Ø CF2=15 CF3=25 Rugosité RA= 6.3</p>	<p>Fraiseuse FV</p>	<p>Fraise Ø20</p>	<p>Pied à coulisse</p>	
<p>600</p>	<p>Contrôle finale Dimensions</p>				

2-DONNÉES DE PRODUCTION

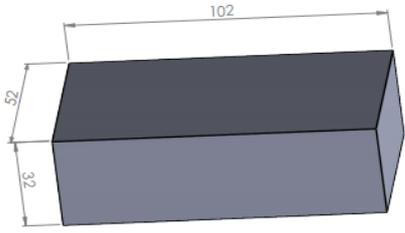
2.1. Données pièce	2.1.1. Matériau	bronze
	2.1.2. Origine du brut	Les chutes
	2.1.3. Surépaisseur usinage	2mm
	2.1.4. Eléments du brut	/
2.2. Données production	2.2.1. Type de série	Unitaire
	2.2.2. Nombre de pièce	5 pièces
	2.2.3. Cadence	/
	2.2.4. Délais	/
2.3. Données atelier	2.3.1. Machines-outils	Tour
	2.3.2. Porte pièce	/
	2.3.3. Outillage de coupe	
	2.3.5. Outillage de contrôle	Pied à Coulisse 1/10

GAMME D'USINAGE					
Ensemble		Nombre:5 Matière: Bronze			N° pièce 2
N°	Désignation des phases s/phases et opérations	M.O	appareils et outillages	Contrôle	Schémas
100	<u>Contrôle du Brut</u> Vérifier si le brut est capable de donner le voulue: 75×Ø28			Pied à coulisse	

200	<p>Tournage: Référentiel de mise en position défini par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Centrage long (1, 2, 3,4) sur [B1] -Butée (5) sur [B3] <p>201: Chariotage de 1 en finition $\varnothing 26$</p> <p>202: Dressage de 2 en finition CF=65 Rugosité RA= 3.2</p>	T. P	<p>Outil à charioter</p> <p>Outil à dresser</p>	Pied à coulisse	
300	<p>Tournage: Référentiel de mise en position défini par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Centrage court (1, 2, 3) sur [3] -Butée (4, 5) sur [4] <p>301 : Chariotage de 1 et 2 en finition CF1=50 CF2= $\varnothing 20.70$ Rugosité RA= 3.2</p>	T.P.	Outil à charioter	Pied à coulisse	
400	<p>Tournage: Référentiel de mise en position défini par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Centrage long (1, 2, 3, 4) sur [3] -Butée (5) sur [4] <p>401 : Chariotage de 1 et 2 en finition CF1=10 CF2= $\varnothing 22$ Rugosité RA= 3.2</p>	T.P.	Outil à charioter	Pied à coulisse	
500	Contrôle finale Dimensions				

3-DONNÉES DE PRODUCTION

2.1. Données pièce	2.1.1. Matériau	Alliages d'aluminium 10160
	2.1.2. Origine du brut	Moulage en gabarie non permanent
	2.1.3. Surépaisseur usinage	2mm
	2.1.4. Eléments du brut	/
2.2. Données production	2.2.1. Type de série	Unitaire
	2.2.2. Nombre de pièce	2 pièces
	2.2.3. Cadence	/
	2.2.4. Délais	/
2.3. Données atelier	2.3.1. Machines-outils	Fraiseuse FV perceuse
	2.3.2. Porte pièce	/
	2.3.3. Outillage de coupe	Fraise cylindrique 2T en Ø50x45 Foret Ø15 et Ø17 et Ø10 Fraise Ø26
	2.3.5. Outillage de contrôle	Pied à Coulisserie 1/10

GAMME D'USINAGE					
Ensemble:		Nombre:2			N° pièce 3
		Matière: Alliages d'aluminium 10160			
N°	Désignation des phases s/phases et opérations	M.O	appareils et outillages	Contrôle	Schémas
100	<u>Contrôle du Brut</u> Brut de moulage 102X52X32			Réglet	

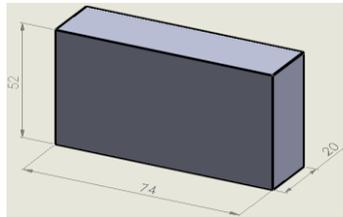
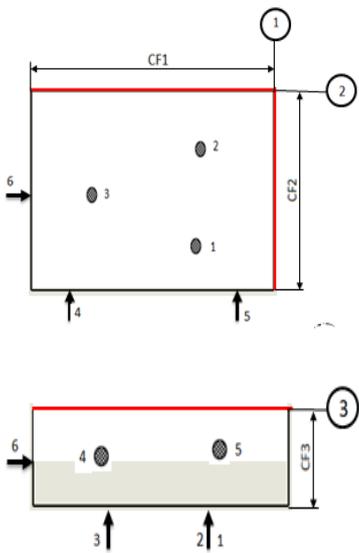
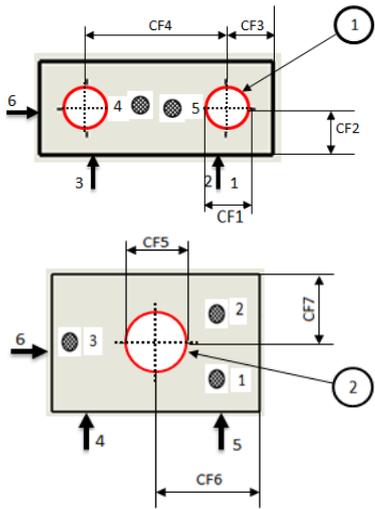
200	<p>Fraisage :</p> <ul style="list-style-type: none"> - finition de la surface Référentiel de mise en position défini par : - appui plan (1,2et3) sur [B1] - appui linéaire (4,5) sur [B2] -appui ponctuel (6) sur [B4] <p>201: surfaçage de 3 en finition CF2=29</p> <p>202: surfaçage de 5 en finition CF1=100 Rugosité RA= 6.3</p>	Fraiseuse FV	Fraise cylindrique 2T en Ø50x45	Pied à coulisse	
300	<p>Fraisage :</p> <ul style="list-style-type: none"> - finition de la surface Référentiel de mise en position défini par : - appui plan (1,2et3) sur [B1] - appui linéaire (4,5) sur [B2] -appui ponctuel (6) sur [B4] <p>301: surfaçage de 1 et 2 en finition CF2=60, CF2=14 Rugosité RA= 6.3</p>	Fraiseuse FV	Fraise cylindrique 2T en Ø50x45	Pied à coulisse	
400	<p>Fraisage :</p> <ul style="list-style-type: none"> - finition de la surface Référentiel de mise en position défini par : - appui plan (1,2et3) sur [1] - appui linéaire (4,5) sur [2] -appui ponctuel (6) sur [3] <p>401 : arrondi de R25 Rugosité RA= 6.3</p>	Fraiseuse FV	Fraise cylindrique 2T en Ø50x45		

500	<p>Perçage : Référentiel de mise en position défini par : - appui plan (1,2et3) sur [3] - appui linéaire (4,5) sur [4] - appui ponctuel (6) sur [5] 501 : perçage de 2 en finition CF1=15 ØX29 CF3=25 CF4=25 502 : perçage de 1 en finition CF2=26 ØX8 Rugosité RA= 3.2</p>	perceuse	Foret Ø15 Fraise Ø26	Pied à coulisse	
600	<p>Perçage : Référentiel de mise en position défini par : - appui plan (1,2et3) sur [3] - appui linéaire (4,5) sur [4] - appui ponctuel (6) sur [5] 601 : perçage de 2 en finition CF1=17 ØX12 CF2=25 CF3=25 602 : rainurage de 1 en finition 10 ØX10 CF4=6Ø14 CF510 CF6=10 CF7=30 Rugosité RA= 3.2</p>	perceuse	Foret Ø17 Foret Ø10	Pied à coulisse	
700	Contrôle finale Dimensions				

4-DONNÉES DE PRODUCTION

2.1. Données pièce	2.1.1. Matériau	Alliages d'aluminium 10160
	2.1.2. Origine du brut	Moulage en gabarie non permanent
	2.1.3. Surépaisseur usinage	2mm
	2.1.4. Eléments du brut	/
2.2. Données production	2.2.1. Type de série	Unitaire
	2.2.2. Nombre de pièce	1 pièces
	2.2.3. Cadence	/
	2.2.4. Délais	/
2.3. Données atelier	2.3.1. Machines-outils	Fraiseuse FV perceuse
	2.3.2. Porte pièce	/
	2.3.3. Outillage de coupe	Foret Ø6 Foret Ø20
	2.3.5. Outillage de contrôle	Pied à Coulisse 1/10

GAMME D'USINAGE

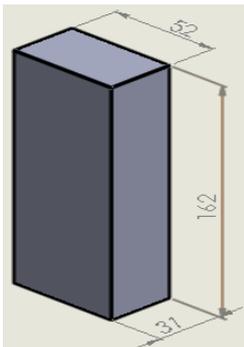
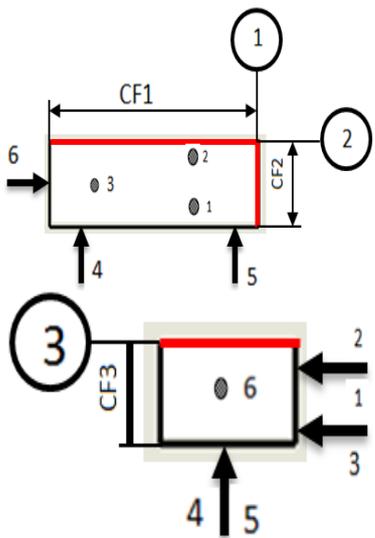
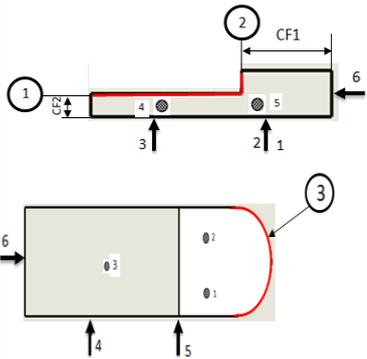
Ensemble:		Nombre:1 Matière: Alliages d'aluminium 10160			N° pièce4
N°	Désignation des phases s/phases et opérations	M.O	appareils et outillages	Contrôle	Schémas
100	<p><u>Contrôle du Brut</u></p> <p>Vérifier si le brut est capable de donner le voulue : 74X52X20</p>			Pied à coulisse	
200	<p><u>Fraisage :</u></p> <p>Référentiel de mise en position défini par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - appui plan (1,2et3) sur [B3] - appui linéaire (4,5) sur [B4] -appui ponctuel (6) sur [B5] <p>201: surfaçage de 1 et 2 finition CF1=72 CF2=50</p> <p>202: surfaçage de 3 en finition CF3= 20 Rugosité Ra= 6.3</p>	Fraiseuse FV	Fraise cylindrique 2T en Ø50x45	Pied à coulisse	
300	<p><u>Perçage :</u></p> <p>Référentiel de mise en position défini par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - appui plan (1,2et3) sur [3] - appui linéaire (4,5) sur [4] -appui ponctuel (6) sur [5] <p>301 : perçage de 1 en finition CF1=6 ØX72 CF2=10 CF3=10 CF4=30</p> <p>302 : perçage de 2 en finition CF5=20 ØX10 CF6=36</p>	perceuse	Foret Ø6 Foret Ø20	Pied à coulisse	

	CF7=25 Rugosité RA= 3.2				
400	Contrôle finale Dimensions				

5-DONNÉES DE PRODUCTION

2.1. Données pièce	2.1.1. Matériau	Alliages d'aluminium 10160
	2.1.2. Origine du brut	Moulage en gabarie non permanent
	2.1.3. Surépaisseur usinage	2mm
	2.1.4. Eléments du brut	/
2.2. Données production	2.2.1. Type de série	Unitaire
	2.2.2. Nombre de pièce	1 pièce
	2.2.3. Cadence	/
	2.2.4. Délais	/
2.3. Données atelier	2.3.1. Machines-outils	Fraiseuse FV perceuse
	2.3.2. Porte pièce	/
	2.3.3. Outillage de coupe	Foret Ø6 Foret Ø17 Foret Ø10 Fraise cylindrique 2T en Ø50x45
	2.3.5. Outillage de contrôle	Pied à Coulisse 1/10

GAMME D'USINAGE

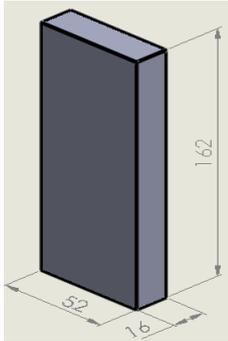
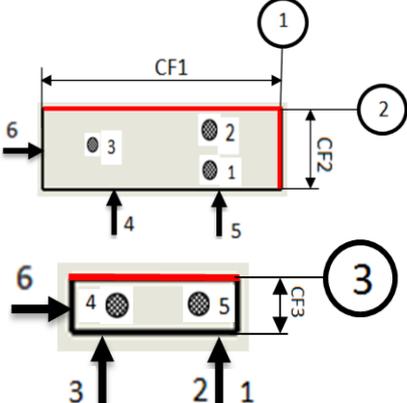
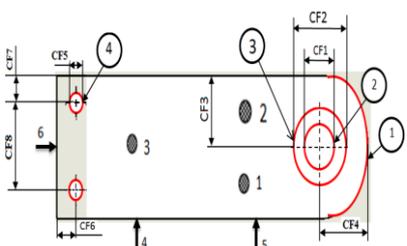
Ensemble:		Nombre :1			N° pièce 5
		Matière: Alliages d'aluminium 10160			
N°	Désignation des phases s/phases et opérations	M.O	appareils et outillages	Contrôle	Schémas
100	<p><u>Contrôle du Brut</u></p> <p>Vérifier si le brut est capable de donner le voulue :</p> <p>162X52X31</p>			Pied à coulisse	
200	<p><u>Fraisage :</u></p> <p>Référentiel de mise en position défini par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - appui plan (1,2et3) sur [B4] - appui linéaire (4,5) sur [B5] -appui ponctuel (6) sur [B6] <p>201: surfaçage de 1 et 2 finition CF1=160 CF2=50</p> <p>202: surfaçage de 3 en finition CF3= 29 Rugosité Ra= 6.3</p>	Fraiseuse FV	Fraise cylindrique 2T en Ø50x45	Pied à coulisse	
300	<p><u>Fraisage :</u></p> <p>Référentiel de mise en position défini par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - appui plan (1,2et3) sur [4] - appui linéaire (4,5) sur [5] -appui ponctuel (6) sur [6] <p>301: surfaçage de 1 et 2 finition CF1=60</p>	Fraiseuse FV	Fraise cylindrique 2T en Ø50x45	Pied à coulisse	

	<p>CF2=15</p> <p>302 : arrondi de R25</p> <p>Rugosité RA= 6.3</p>				
400	<p>Perçage :</p> <p>Référentiel de mise en position défini par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - appui plan (1,2et3) sur [3] - appui linéaire (4,5) sur [4] -appui ponctuel (6) sur [5] <p>401 : perçage de 1 et rainurage de 2 en finition</p> <p>CF1=15 ØX29</p> <p>10ØX7</p> <p>402 : perçage de 3 en finition</p> <p>CF2 = 6 ØX8</p> <p>CF3 = 10</p> <p>CF4 = 30</p> <p>CF5 = 10</p> <p>Rugosité RA= 3.2</p>	perceuse	<p>Foret Ø15</p> <p>Foret Ø6</p> <p>Foret Ø10</p>	Pied à coulisse	
500	<p>Perçage :</p> <p>Référentiel de mise en position défini par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - appui plan (1,2et3) sur [1] - appui linéaire (4,5) sur [2] -appui ponctuel (6) sur [3] <p>501 : perçage de 4 en finition</p> <p>CF1=26ØX8</p> <p>CF2=25</p> <p>CF3=25</p> <p>Rugosité RA= 3.2</p>	perceuse	Fraise Ø26	Pied à coulisse	
600	<p>Contrôle finale</p> <p>Dimensions</p>				

6-DONNÉES DE PRODUCTION

2.1. Données pièce	2.1.1. Matériau	Alliages d'aluminium 10160
	2.1.2. Origine du brut	Moulage en gabarie non permanent
	2.1.3. Surépaisseur usinage	2mm
	2.1.4. Eléments du brut	/
2.2. Données production	2.2.1. Type de série	Unitaire
	2.2.2. Nombre de pièce	1 pièces
	2.2.3. Cadence	/
	2.2.4. Délais	/
2.3. Données atelier	2.3.1. Machines-outils	Fraiseuse FV
	2.3.2. Porte pièce	/
	2.3.3. Outillage de coupe	Fraise cylindrique 2T en Ø50x45 Foret Ø15 Foret Ø6 Fraise Ø26
	2.3.5. Outillage de contrôle	Pied à Coulisse 1/10

GAMME D'USINAGE

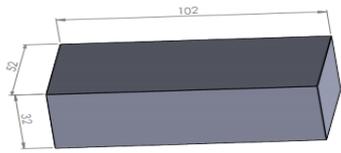
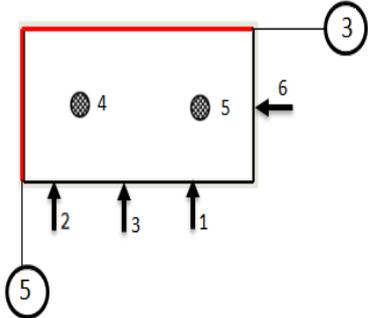
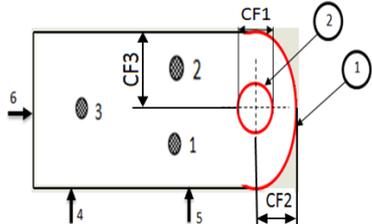
Ensemble:		Nombre: 1			N° pièce 6
		Matière: Alliages d'aluminium 10160			
N°	Désignation des phases s/phases et opérations	M.O	appareils et outillages	Contrôle	Schémas
100	<p><u>Contrôle du Brut</u></p> <p>Vérifier si le brut est capable de donner le voulu :</p> <p>162X52X16</p>			Pied à coulisse	
200	<p><u>Fraisage :</u></p> <p>Référentiel de mise en position défini par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - appui plan (1,2et3) sur [4] - appui linéaire (4,5) sur [5] - appui ponctuel (6) sur [6] <p>201: surfaçage de 1 et 2 finition CF1=160 CF2=50</p> <p>202: surfaçage de 3 en finition CF3=14</p> <p>Rugosité RA= 6.3</p>	Fraiseuse FV	Fraise cylindrique 2T en Ø50x45	Pied à coulisse	
300	<p><u>Fraisage :</u></p> <p>Référentiel de mise en position défini par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - appui plan (1,2et3) sur [5] - appui linéaire (4,5) sur 	Fraiseuse FV	<p>Fraise cylindrique 2T en Ø50x45</p> <p>Foret Ø15</p> <p>Foret Ø6</p> <p>Fraise Ø26</p>	Pied à coulisse	

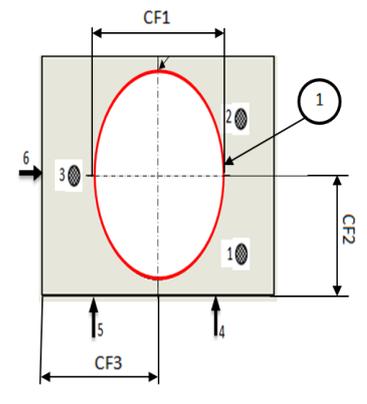
	<p>[6] -appui ponctuel (6) sur</p> <p>[7] 301: arrondi de <u>1</u> R25</p> <p>302: perçage de 2 et 3 en finition CF1=15Ø X 14 CF2=26Ø X 8 CF3=25 C4F=25</p> <p>303 : perçage de 4en finition C F 5 = 6 Ø X 14 CF6=10 CF7=10 CF8= 30 Rugosité RA= 3.2</p>				
400	Contrôle finale Dimensions				

7-DONNÉES DE PRODUCTION

2.1. Données pièce	2.1.1. Matériau	Alliages d'aluminium 10160
	2.1.2. Origine du brut	Moulage en gabarie non permanent
	2.1.3. Surépaisseur usinage	2mm
	2.1.4. Eléments du brut	/
2.2. Données production	2.2.1. Type de série	Unitaire
	2.2.2. Nombre de pièce	2 pièces
	2.2.3. Cadence	/
	2.2.4. Délais	/
2.3. Données atelier	2.3.1. Machines-outils	Fraiseuse FV perceuse
	2.3.2. Porte pièce	/
	2.3.3. Outillage de coupe	Foret Ø6 Foret Ø20
	2.3.5. Outillage de contrôle	Pied à Coulisse 1/10

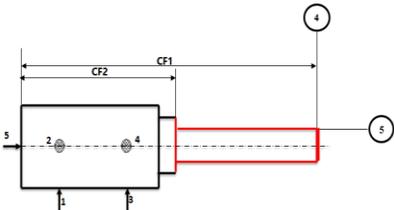
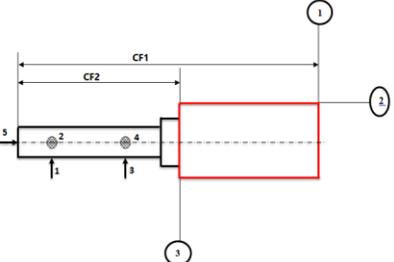
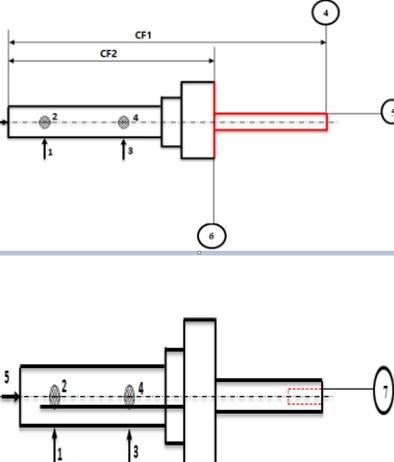
GAMME D'USINAGE

Ensemble:		Nombre: 2			N° pièce 7
		Matière: Alliages d'aluminium 10160			
N°	Désignation des phases s/phases et opérations	M.O	appareils et outillages	Contrôle	Schémas
100	<p>Contrôle du Brut Brut de moulage</p> <p>102X52X32</p>			Réglet	
200	<p>Fraisage :</p> <ul style="list-style-type: none"> - finition de la surface Référentiel de mise en position défini par : - appui plan (1,2et3) sur[B1] - appui linéaire (4,5) sur[B2] - appui ponctuel (6) sur [B4] <p>201: surfaçage de 3 en finition CF2=30</p> <p>202: surfaçage de 5 en finition CF1=100 Rugosité RA= 6.3</p>	Fraiseuse FV	Fraise cylindrique 2T en Ø50x45	Pied à coulisse	
300	<p>Fraisage :</p> <ul style="list-style-type: none"> - finition de la surface Référentiel de mise en position défini par : - appui plan (1,2et3) sur [3] - appui linéaire (4,5) sur[4] - appui ponctuel (6) sur [5] <p>301 : arrondi de surface 1 R25</p> <p>302 : perçage de 2 en finition CF1=10Ø X 30 CF2=25 CF3=25 Rugosité RA= 3.2</p>	Fraiseuse FV	Fraise cylindrique 2T en Ø50x45 Foret Ø10	Pied à coulisse	

400	<p>Perçage : Référentiel de mise en position défini par : - appui plan (1,2et3) sur [2] - appui linéaire (4,5) sur [3] - appui ponctuel (6) sur [4] 401 : perçage de 1 en finition CF=20ØX10 CF2=15 CF3=25 Rugosité RA= 3.2</p>	Fraiseuse FV	Fraise Ø20	Pied à coulisse	 <p>The diagram shows a rectangular sliding foot with a central hole. The hole is defined by a red oval. Reference points are indicated by circled numbers: 1 (top surface), 2 (right edge), 3 (left edge), 4 (bottom edge), 5 (bottom edge), and 6 (left edge). Dimensions are labeled: CF1 (width of the hole), CF2 (height of the foot), and CF3 (width of the foot). Arrows indicate the direction of the reference points.</p>
500	Contrôle finale Dimensions				

Donnée de production :

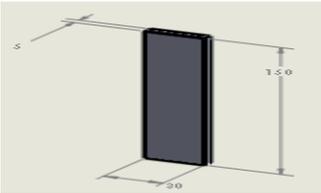
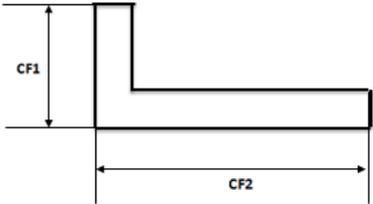
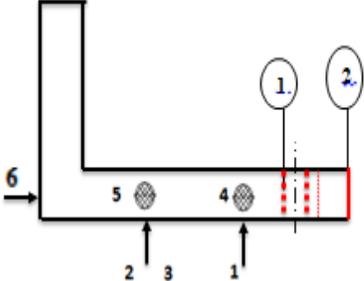
2.1. Données pièce	2.1.1. Matériau	Alliage Aluminium AL10160
	2.1.2. Origine du brut	Pièces des chutes
	2.1.3. Surépaisseur usinage	2mm
	2.1.4. éléments du brut	42*116
2.2. Données production	2.2.1. type de série	unitaire
	2.2.2. Nombre de pièce	1
	2.2.3. cadence	/
	2.2.4. Délais	/
2.3. Données atelier	2.3.2. Machines-outils	Tour parallèle : TP Aléseuse
	2.3.2. porte pièce	/
	2.3.3. Outillage de coupe	Outil de (chariotage – dressage) foret de alésoir
	2.3.4. outillage de contrôle	Pied à coulisse

	<p>302/ Référentiel définir par centrage long (1, 2, 3,4) sur [B2] appui ponctuel (5) sur [B1]</p> <p>Charioter (5,6) en ébauche et finition réaliser 21 Ø</p>	TP	Outil de chariotage	Pied à coulisse	
400	<p>Tournage</p> <p>Référentiel définir par centrage long (1, 2, 3, 4) sur 2 appui ponctuel (5) sur 1</p> <p>401/dressage de 1 en finition</p> <p>Chariotage 1 et 2 en ébauche et finition réalisé 40 Ø</p>	TP	Outil de chariotage	Pied à coulisse	
	<p>402/ Chariotage 4 et 5 en ébauche et finition réalisé 8.9 Ø</p> <p>403/perçage</p> <p>Perçer 7 en finition Ø6</p>	TP	Outil de chariotage	Pied à coulisse	
500	<p>Contrôle finale</p> <p>Dimensions</p>				

Donnée de production

2.1. Données pièce	2.1.1. Matériau	Acier(A50)
	2.1.2. Origine du brut	Pièces des chutes
	2.1.3. Surépaisseur usinage	2mm
	2.1.4. éléments du brut	30*150*5
2.2. Données production	2.2.1. type de série	unitaire
	2.2.2. Nombre de pièce	4
	2.2.3. cadence	/
	2.2.4. Délais	/
2.3. Données atelier	2.3.2. Machines-outils	ppliage : P Frésage verticale: perçage vertical: PV
	2.3.2. porte pièce	/
	2.3.3. Outillage de coupe	Outil de (fraiseuse) outils perçage foret –outil de chanfreine
	2.3.4. outillage de contrôle	Pied à coulisse

Gamme d'usinage

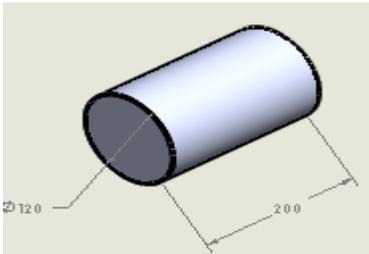
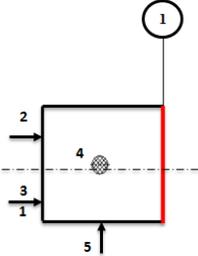
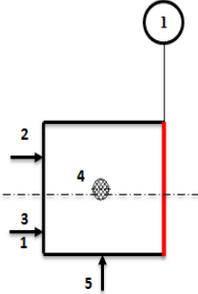
Ensemble:		Nombre: 1		N° pièce 8	
		Matière: acier			
N°	Désignation des phases s/phasés et opérations	M.O	appareils et outillages	Contrôle	Schémas
100	<p><u>Contrôle de brut :</u></p> <p>Vérifier si le brut est capable de donner le voulue :</p> <p>30*150*5</p>			Pied à coulisse	
200	<p>-pliage L verticale 50mm</p> <p>CF1=50mm</p> <p>CF2=70</p>				
300	<p><u>Fraisage</u></p> <p>Référentiel de mise en position défini par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - appui plan (1,2et3) sur [B1] - appui linéaire (4,5) sur [B2] -appui ponctuel (6) sur [B4] <p><u>301/Chanfreinée</u></p>	FV		Pied à coulisse	

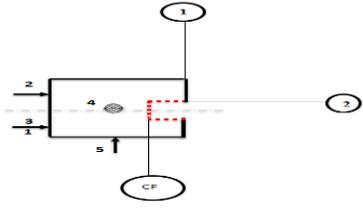
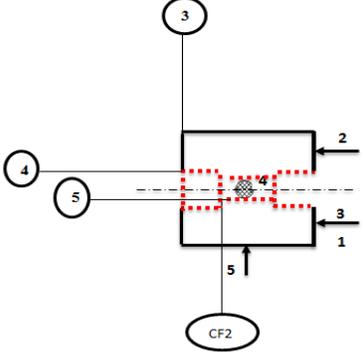
	Chanfreinée 2en finition de r20mm <u>302/Perçage</u> Percer1 en finition Ø6 mm Régositer=6.3		Outil de chanfreinée Outil de perçage	Pied à coulisse	
400	Contrôle finale Dimensions				

Donner de production :

2.1. Données pièce	2.1.1. Matériau	Acier(A50)
	2.1.2. Origine du brut	Pièces des chutes
	2.1.3. Surépaisseur usinage	2mm
	2.1.4. éléments du brut	200*120
2.2. Données production	2.2.1. type de série	unitaire
	2.2.2. Nombre de pièce	1
	2.2.3. cadence	/
	2.2.4. Délais	/
2.3. Données atelier	2.3.2. Machines-outils	Tour parallèle : TP Aléseuse
	2.3.2. porte pièce	/
	2.3.3. Outillage de coupe	Outil de (chariotage –dressage) foret de alésoir
	2.3.4. outillage de contrôle	Pied à coulisse

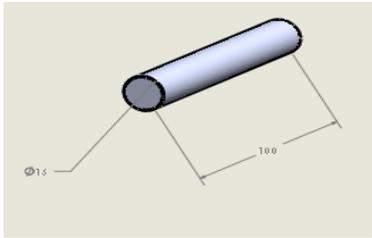
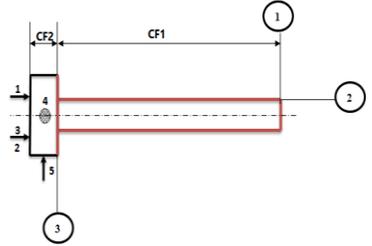
Gamme d'usinage

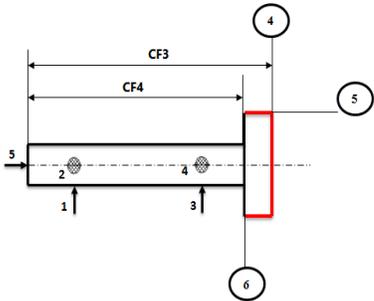
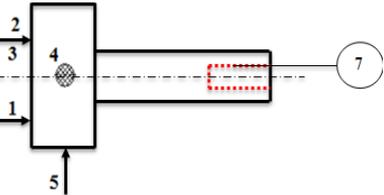
Ensemble :		Nombre : 1		N pièce 12	
Élément :		Matière : acier			
N ⁰	Désignation des phases s/ phases et opération	M.O	Appareils et outillages	Contrôle	schémas
100	<u>Contrôle du brut</u> Vérifier si le brut est capable de donner le voulue :			Pied à coulisse	
200	<u>Découpage :</u> fixer la pièce par l'étai appui plan (1,2et 3) sur [B1] appui linéaire (4,5) sur [B2] cette pièce sur la longueur 70	AM	Outil de cisaillement Acier mécanique	Pied à coulisse	
300	<u>Tournage</u> Référentiel de mise en position définir par Centrage court(4et5) sur [B2] Appui plan (1,2et3) sur [B1] 301/Dressage de 1en finition	TP	Outil de dressage	Pied à coulisse	

	<p>302/ perçage : Perçer 2 en finition Ø26</p>	TH	Outil de perçage	Pied à coulisse	
400	<p>Perçage : Référentiel de mise en position définir par Centrage court (4et5) sur [B2] Appui plan (1,2et3) sur [B1] 401/Dressage de 3 en finition 402/ perçage Perçer 4 en finition Ø26 403/ perçage Perçer 5 en finition Ø10</p>	TH	Outil de perçage	Pied à coulisse	
500	<p>Contrôle finale Dimensions</p>				

Donner de production

2.1. Données pièce	2.1.1. Matériau	Acier(A50)
	2.1.2. Origine du brut	Pièces des chutes
	2.1.3. Surépaisseur usinage	2mm
	2.1.4. éléments du brut	205*205*10
2.2. Données production	2.2.1. type de série	unitaire
	2.2.2. Nombre de pièce	1
	2.2.3. cadence	/
	2.2.4. Délais	/
2.3. Données atelier	2.3.2. Machines-outils	Fraisage verticale : TV perceuse verticale: PV
	2.3.2. porte pièce	/
	2.3.3. Outillage de coupe	Outil de (fraiseuse perçage) foret de parçage
	2.3.4. outillage de contrôle	Pied à coulisse

Gamme d'usinage					
Ensemble :		Nombre : 1		N° pièce 9	
N°	Désignation des phases s/phases et opérations	M.O	appareils et outillages	Contrôle	Schémas
100	<u>Contrôle du Brut</u> Vérifier si le brut est capable de donner le voulue : 15x100			Pied à coulisse	
200	<u>Tournage</u> Référentiel de mise en position défini par: -Centrage long(1.2.3) sur[B1] Centrage court (4.5) sur[B2] Charioter 1 et 2 en ébauche et finition réaliser 10Φ Régositer3.2	TP	Outil de chariotage	Pied à coulisse	

300	<p>Tournage</p> <p>Référentiel de mise en position défini par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Centrage long (1, 2, 3,4) sur 6 appui ponctuel (5) sur A <p>charioter 4et5 en ébauche et finition réaliser 12 Ø</p> <p>rugosité Ra=3.2</p>	TP	<p>Outils de chariotage</p> <p>Outil à charioter</p>	Pied à coulisse	
400	<p>Perçage</p> <p>Référentiel de mise en position défini par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - appui plan (1, 2, 3) sur 6 -appui linéaire (4,5) sur A <p>percer7 en finition Ø6 mm</p> <p>Régosité Ra=3.2</p>	P	<p>Outil de perçage foret</p> <p>Ø6mm</p>	Pied à coulisse	
500	<p>Contrôle finale</p> <p>Dimensions</p>				

Donnée de production

2.1. Données pièce	2.1.1. Matériau	Bronze (normale)
	2.1.2. Origine du brut	Pièces des chutes
	2.1.3. Surépaisseur usinage	2mm
	2.1.4. éléments du brut	
2.2. Données production	2.2.1. type de série	unitaire
	2.2.2. Nombre de pièce	1
	2.2.3. cadence	/
	2.2.4. Délais	/
2.3. Données atelier	2.3.2. Machines-outils	Tour parrallèle : TP Aléseuse
	2.3.2. porte pièce	/
	2.3.3. Outillage de coupe	Outil de (chariotage –dressage) foret de alésoir
	2.3.4. outillage de contrôle	Pied à coulisse

Résumé

ملخص

في هذه الدراسة، قدمنا المشكلة التي تنشأ خلال الهندسة العكسية في الميكانيكا. وقد استشهدنا بالحلول التكنولوجية المختلفة المتاحة في السوق لحل مشكلة الحصول على البيانات الهندسية من الأجزاء الميكانيكية. ثم بررنا اختيار الذراع قياس متعدد الحل كما الحل الأمثل وخاصة بالمقارنة مع سم التقليدية

بعد مناقشة النظرية التي يتم تطوير الذراع عليها، يتم إعطاء مختلف مراحل التصميم، وكذلك القيود التي تحد من أبعاد الذراع. الاستنتاج المستخلص من هذا القسم هو أن عدد درجات الحرية يعتمد على تعقيد الجسم الذي نقوم بمعاينته، ولكن من أجل تحسين إمكانية الوصول، فإن الحد الأدنى لدرجات الحرية هو خمسة

وقد تم توضيح عمليات التصنيع الميكانيكية المستخدمة في الإنتاج مع بعض العيوب وأخطاء التصنيع. ويختتم الفصل بمناقشة حول التركيب الإلكتروني والجانب البرنامجي للمشروع

واجهنا العديد من المشاكل أثناء تطوير هذا المشروع، وقد عرضناها بحيث يمكن تجنبها، مع بعض التوصيات، للدراسات المستقبلية

RESUME

Dans cette étude nous avons exposé le problème qui se pose lors de la rétro-ingénierie en mécanique. Nous avons cité les différentes solutions technologiques disponibles sur le marché pour résoudre le problème de l'acquisition de données géométriques des pièces mécaniques. Ensuite nous avons justifié le choix du bras de mesure 3D polyarticulé comme la solution optimale surtout par rapport aux MMT traditionnelles.

Après l'exposé de la théorie sur laquelle le développement du bras a été basé, la discussion des différents cycles de la conception itérative, ainsi que les contraintes limitant les dimensions du bras sont données. La conclusion tirée de cette partie est que le nombre de degrés de liberté dépend de la complexité de la pièce à analyser, mais pour une meilleure accessibilité le nombre des degrés de liberté minimum est cinq.

Les procédés de fabrication mécaniques utilisés pour la réalisation ont été illustrés avec quelques défauts et erreur de fabrication. Le chapitre est conclu par une discussion sur l'installation électronique et l'aspect logiciel du projet.

Nous avons rencontré beaucoup de problèmes durant le développement de ce projet et nous les avons exposés pour qu'ils soient évités avec quelques recommandations pour des études futures.

ABSTRACT

In this study, we have presented the problem that arises during reverse engineering in mechanics. We have cited the various technological solutions available on the market to solve the problem of geometric data acquisition of mechanical parts. Then we justified the choice of the polyarticulated 3D measurement arm as the optimal solution especially compared to the traditional CMM.

After discussing the theory on which the arm is developed, the discussion of the different cycles of iterative design, as well as constraints limiting the arm dimensions, are given. The conclusion drawn from this section is that the number of degrees of freedom depends on the complexity of the analyzed object, but for better accessibility, the minimum number of degrees of freedom is five.

The mechanical manufacturing processes used for the production have been illustrated with some defects and manufacturing errors. The chapter concludes with a discussion on the electronic installation and the software aspect of the project.

We encountered many problems during the development of this project and we have exposed them so that they can be avoided, with some recommendations, for future studies.