

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد – تلمسان –

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Par : SEBBIH Nehla BENTOUMI Youcef

Sujet

Etude de conception et réalisation d'un robot cartésien pour les opérations de Pick and Place

Soutenu publiquement, le 30 / 06 / 2022, devant le jury composé de :

M. BOUKHALFA Abdelkrim	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
M. HAMZA CHERIF Sidi Mohamed	MCA	Univ. Tlemcen	Encadreur de mémoire
M. BELALIA Sid Ahmed	Professeur	Univ. Tlemcen	Co- Encadreur de mémoire
M. CHORFI Sidi Mohamed	MCA	Univ. Tlemcen	Examineur 1

Année universitaire : 2021/2022

Remercîment

Toute ma gratitude et remerciement vont à Allah, le miséricordieux de nous avoir donné la possibilité de réaliser notre projet, d'arriver à notre souhait et d'atteindre notre objectif

Nous aimerions dans ces quelques lignes remercier toutes les personnes qui d'une manière ou d'une autre, ont contribué au bon déroulement de notre travail, tout au niveau humain qu'au niveau scientifique.

Nous tenons à exprimer nos remerciements vifs à notre encadreur **Mr. HAMZA CHERIF Sidi Mohamed** et Co-encadreur **Mr. BELAILIA Sid Ahmed** qui nous ont permis de bénéficier à la fois de leurs compétences scientifiques et de leurs disponibilité, tant pour résoudre les difficultés rencontrées lors de la réalisation de notre projet ou pour répondre à nos questions.

Nous les remercions aussi pour leurs patiences et encouragements ce qui nous a permis de travailler dans de bonnes conditions.

Nos remerciements s'adressent également au président de jury Professeur **BOUKHALFA Abdelkrim** et l'examineur **Mr. CHORFI Sidi Mohamed**, pour avoir accepté de nous honorer de leur présence et de juger notre travail merci.

Grand remerciement à **Mr. SERDOUN Nadjib** pour sa patience, son aide et sa disponibilité à répondre à nos nombreuses questions.

Nous remercions aussi tous les professeurs et les enseignants de département génie mécanique, nos parents, nos frères et sœurs et nos chers amis, pour leurs aides et leurs sacrifices

Dédicace

Nous dédions cet humble travail.

A ceux qui ont nous aide à faire ce modeste travail par leurs conseils et leurs encouragements :

- A mes parents
- A mon frère Ismail, ma sœur Soumia et mon petit neveu Younes
- A ma meilleure amie OUHADJ Chaimae
- A mes chers amis
- A tout la famille SEBBIH
- A tous ceux qui me sont chers

Nous les remercions et les dédions ce travail

Sebbih Nehla

Dédicace

Nous dédions cet humble travail.

A ceux qui ont nous aide à faire ce modeste travail par leurs conseils et leurs encouragements :

- A mon père
- A mes frères et sœurs
- A mes chers amis
- A tout la famille BENTOUMI
- A tous ceux qui me sont chers

Nous les remercions et les dédions ce travail

BENTOUMI Youcef

Résumé

Les robots de Pick and Place comme classe importante des robots industriels ont marqué leur présence exigée pour une variété de champ industriel, médical, aéronautique et d'autres.

La conception de tel type de robot nécessite la contribution de plusieurs disciplines et touche de nombreux domaines de connaissance.

L'objet de ce travail est la conception et réalisation d'un robot. La modélisation géométrique tridimensionnelle est réalisée à l'aide du logiciel SolidWorks 2022. Elle est suivie par une mise en plan bidimensionnel des différentes pièces constituant le robot. La partie commande du robot est aussi entamée. Un ensemble de pièces, procurées du marché, ou récupérées de machine usée, d'autre usinées sont assemblées afin de concrétiser la modélisation géométrique tout en optimisant le coût.

Le robot réalisé permet aux étudiants de graduation d'approfondir leurs connaissances théoriques comme il ouvre de nouvelle perspective de recherche, dans le domaine de la robotique.

Mots clés : robot, CNC, conception assisté par ordinateur, moteurs pas à pas.

Abstract

Pick and Place robots as an important class of industrial robots have marked their presence required for a variety of industrial, medical, aeronautical and others.

The design of such type of robot requires the contribution of several disciplines and touches many areas of knowledge.

The object of this work is the design and realization of a robot. The three-dimensional geometric modelling is done using SolidWorks 2022 software. A two-dimensional drawing of the different parts of the robot follows it. The control part of the robot is also started. A set of parts, procured from the market, or recovered from used machine, other machined are assembled to concretize the geometric modelling while optimizing the cost.

The realized robot allows the students of graduation to deepen their theoretical knowledge as it opens new perspectives of research, in the field of robotics. In the field of robotics.

Key words : robot, CNC, computer aided design, stepper motors.

حددت روبوتات الانتقاء والمكان كفاءة مهمة من الروبوتات الصناعية. وجودها مطلوب في عدة مجالات منها المجالات الصناعية والطبية والطيران وغيرها.

يتطلب تصميم مثل هذا النوع من الروبوتات مساهمة العديد من التخصصات، ويؤثر على العديد من مجالات المعرفة.

الهدف من هذا العمل هو تصميم وصناعة الروبوت. يتم تنفيذ الهندسية ثلاثية الأبعاد باستخدام برنامج SolidWorks 2022. يليه رسم ثنائي الأبعاد للأجزاء المختلفة التي يتكون منها الروبوت. بدأ أيضًا جزء التحكم في الروبوت. يتم تجميع مجموعة من الأجزاء التي يتم شراؤها من السوق أو استردادها من آلة قديمة، ويتم تجميع أجزاء آلية أخرى من أجل تشكيل النمذجة الهندسية مع تقليل التكلفة.

يسمح الروبوت المنتج لطلاب التخرج بتعميق معرفتهم النظرية حيث يفتح آفاق بحثية جديدة في مجال الروبوتات.

الكلمات المفتاحية: روبوت، CNC، تصميم بمساعدة الحاسوب، محركات متدرجة.

Tables des matières

Remercîment	2
Dédicace	3
Dédicace	4
Résumé	5
Abstract	6
ملخص	7
Tables des matières	7
La liste des figures	10
Liste des tableaux	12
Liste des abréviations	13
Introduction générale :	16

Chapitre I : Etude préliminaire du projet

I.1. Introduction :.....	18
I.2. Contexte du projet et Problématique :	18
I.3. Formulation préliminaire du projet :.....	22
I.3.1. Analyse du besoin :	22
I.3.1.1. Diagramme Bête à cornes :	22
I.3.1.2. Enoncé le besoin :	22
I.3.2. Validation du besoin :	23
I.4. Préfaisabilité du projet :.....	23
I.4.1. Définition des ressources :.....	23
I.4. 2. Estimation des couts :.....	24
I.5. Échéancier :.....	24
I.6. Conclusion :	24

Chapitre II : Etude conceptuelle du projet

II.1. Introduction :	26
II.2. Analyse fonctionnelle :.....	26
II.3. Analyse fonctionnelle externe :.....	26

II.3.1. Identification des éléments du milieu extérieur :	27
II.3.2. Diagramme des interacteurs :	27
II.3.2.1. Les fonctions du service :	28
II.4. Analyse fonctionnelle interne :	29
II.4.1. La méthode FAST :	29
II.5. Structure fonctionnelle du projet :	30
II.6. Cahier des charges fonctionnel du robot :	33
II.7. Conclusion :	34

Chapitre III : Processus de conception

III.1. Introduction :	36
III.2. Solutions technologiques :	36
III.2.1. Structure :	36
III.2.2. Sous systèmes de déplacement (X, Y et Z) :	37
III.2.2.1. Systèmes de transformation de mouvement :	37
III.2.2.2. Systèmes de guidage :	39
III.2.2.3. Motorisation :	40
III.3. Conception du système :	41
III.3.1. Chaîne cinématique du système :	42
III.3.2. Modélisation géométrique :	42
III.3.2.1. Modélisation 3D des axes :	42
III.3.2.4. Modélisation 3D du robot :	42
III.4. Conclusion :	44

Chapitre IV : Validation des solutions technologiques retenues

IV.1. Introduction :	50
IV.2. Schéma bloc d'une transmission linéaire :	50
IV.3. Caractéristiques cinématiques du mouvement du rotor pour une loi de commande trapézoïdale :	51
IV.3.1. Conditions à respecter :	54
IV.3.2. Puissances et couples moteur :	54
IV.4. Rapport de calcul :	55
IV.5. Interprétation des résultats :	56
IV.5.1. Dimensionnement du moteur de l'axe x :	56
IV.6. Etude statique du robot :	57

IV.6.1. Paramètres de l'étude :	57
IV.6.2.1. Maillage :	57
IV.6.2.2. Propriétés de matériau :	58
IV.6.2.3. Actions extérieurs :	59
IV.6.2. Résultats de l'étude :	59
IV.6.2.1. Les contraintes de Von-Mises :	59
IV.6.2.2. Les déplacements :	60
IV.7. Conclusion :	61

Chapitre V : Réalisation du robot

V.1. Introduction :	63
V.2. Assemblages des sous-systèmes :	63
V.2.1. La réalisation de l'assemblage de l'axe X :	63
V.2.2. La réalisation de l'assemblage de l'axe Y :	65
V.2.3. La réalisation de l'assemblage de l'axe Z :	66
V.2.4. Commande :	72
V.2.4.1 Motorisation :	72
V.2.4.1. Carte d'interface Arduino DUE :	72
V.2.4.2. Driver moteur pas à pas	74
V.2.4.3. Préhenseur :	74
V.2.4.4. Circuit de commande :	75
V.2.4.4. Boite de commande :	76
V.3. Conclusion :	76
Conclusion générale :	78
Références bibliographiques :	80
Annexe-A- : Rail de guidage :	82
1. Description :	82
Annexe –B- : Alimentation électrique 12V 30A 250W	84
1. Description :	84
2. Caractéristiques :	84
Annexe-C- : G-code :	85

La liste des figures

Chapitre I : Etude préliminaire du projet

Figure I-1: Types des robots [2].	20
Figure I-2 : Types des robots Pick and Place [4].	21
Figure I-3: Bête à cornes	22

Chapitre II : Etude conceptuelle du projet

Figure II-1 : Analyse fonctionnelle	26
Figure II- 2 : Diagramme Pieuvre du système en phase conception	28
Figure II- 3 : La méthode de FAST	30
Figure II- 4 : Diagramme FAST de la fonction principale	31
Figure II- 5 : Structure fonctionnelle du système	32

Chapitre III : Processus de conception

Figure III- 1 : Structures des robots linéaires [7].	36
Figure III- 2 : Les éléments système de transmission de mouvement [11].	39
Figure III- 3 : Guidage par règle à billes et roulements linéaire [8].	40
Figure III- 4 : Chaîne cinématique du système.	42
Figure III- 5 : Solution technologique de l'axe Z.	43
Figure III- 6 : Solution technologique de l'axe Y.	43
Figure III- 7 : Solution technologique de l'axe X.	44
Figure III- 8 : Différents vues de la modélisation 3D du robot.	48

Chapitre IV : Validation des solutions technologiques retenus

Figure IV- 1 : Schéma de la chaîne cinématique [9].	51
Figure IV- 2 : les lois de vitesse en trapèze pour un déplacement X en un temps T [9].	52
Figure IV- 3: Loi de vitesse trapézoïdale [2].	52
Figure IV- 4 : Maillage.	57

Chapitre V : réalisation du robot

Figure V- 1 : Bâti de l'axe X.	63
Figure V- 2 : Assemblage des tubes et le bâti.	64
Figure V- 3 : Montage des rails de guidage.....	64
Figure V- 4 : Assemblage axe X	65
Figure V- 5 : Elément U de l'axe Y.....	65
Figure V- 6 : Montage des rails et roulements.	66
Figure V- 7: Support de l'axe Z.	67
Figure V- 8 : Télescope.	67
Figure V- 9: les pièces peinturées.....	70
Figure V- 10 : Montage finale du robot.....	71
Figure V- 11: Moteur pas à pas Nema 23 [11].	73
Figure V- 12 : Arduino DUE [10]	73
Figure V- 13: Driver Tb6600 [11].	74
Figure V- 14: Electro-aimant [2].	74
Figure V- 15: Schéma de surcircuit de commande.	75
Figure V- 16: La boîte de commande.	76

Annexe

Figure Annexe –A- 1 : Rail de guidage [10].	83
Figure Annexe –B-2 : Alimentation électrique 12V 30A 250W [2].	84

Liste des tableaux

Chapitre II : Etude conceptuelle du projet

Tableau II- 1 : Identification des sous systèmes.....	30
Tableau II- 2 : Cahier des charges fonctionnel.....	33

Chapitre IV : Validation des solutions technologiques retenues

Tableau IV- 1 : Données de cahier de charges.	55
Tableau IV- 2 : Détails de maillage.....	58
Tableau IV- 3: Propriétés de matériau.....	58
Tableau IV- 4: Chargement extérieur de l'élément.	59
Tableau IV- 5: Les contraintes de Von-Mises.....	60
Tableau IV- 6 : Les déplacements résultants.....	61

Annexe

Tableau Annexe-C-1 : G code [2].	85
---------------------------------------	----

Liste des abréviations

IDE : Environnement de développement intégré, (Integrated Development Environment).

E.M.E : Eléments du Milieu Extérieur.

FP : Fonction principale.

FC : Fonction contrainte.

FAST: Technique du système d'analyse de fonction, (Function Analysis System Technic).

ISO: Organisation international de Normalisation, (International Organization for Standardization).

AFNOR : Association Française de Normalisation.

DC: Direct Current.

AC: Alternative Current.

M : La masse.

C_m : Couple moteur.

J_m : Inertie du rotor autour de son axe.

λ : Coefficient de transmission global de la chaîne cinématique.

F : Effort appliqué sur la charge.

V : Vitesse de déplacement de la charge.

x_c : Le déplacement.

V : Vitesse à l'instant t suivant l'axe de commande.

V_{max} : Vitesse maximale suivant l'axe de commande.

a_x : Accélération linéaire sur l'axe de commande.

t_a : Temps d'accélération = temps de décélération.

t_p : Temps de déplacement à vitesse constante.

t_t : Temps de déplacement total.

a_{\max} : Accélération maximale.

a_{\min} : Accélération minimale.

C_{ma} : Moment moteur ramené sur l'axe du rotor.

J : Moment d'inertie des pièces en mouvement ramenés sur l'axe du rotor, comprenant.

$\dot{\omega}_m$: L'accélération angulaire du rotor.

ω_m : La vitesse angulaire.

J_{pm} : Inertie de la poulie crantée.

J_g : Inertie du galet tendeur.

ξ : Rendement de transmission.

P_{max} : La puissance maximale.

P_a : La puissance d'accélération.

P_p : La puissance permanente.

P_t : La puissance totale.

r_i : Le rapport d'inertie.

r : Rapport de réduction.

k : la matrice de la rigidité.

q : le vecteur de déplacement.

F : le vecteur de la charge extérieur.

α_s : Coefficient de sécurité.

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale :

Le terme robot vient du mot tchèque 'robota' que signifie travail forcé. Un robot est un dispositif mécatronique (combinant mécanique, électronique et informatique) conçu pour automatiser des tâches qui imitent certaines fonctions humaines dans une zone spécifique telles que la manipulation d'objets ou la locomotion, dans le but de se substituer à l'homme pour la réalisation de certaines tâches matérielles.

Il existe différents types des robots : robots militaires, robots industrielles, robots chirurgicales, robots agricoles, robots domestiques, robots compagnons,...

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la conception et la réalisation d'un robot de type cartésien à portique pour les opérations de Pick and Place permettant de manipuler une charge avec précision en respectant un cahier de charge bien défini.

Ce document comporte cinq chapitres et est organisé comme suit :

Le premier chapitre est une étude préliminaire du projet. Cette étude consiste à vérifier la faisabilité du besoin, à identifier les ressources et élaborer le planning du projet.

Le deuxième chapitre, présente les différentes phases de l'analyse conceptuelle qui permettent de recenser, caractériser et ordonner les fonctions de robot afin de construire l'arbre fonctionnel et d'identifier les sous-systèmes du projet.

Le troisième chapitre est consacré à la conception du prototype, les éléments constituants et les solutions technologiques adoptées sont présentés en détail.

Le quatrième chapitre résume les résultats de la phase de dimensionnement et calculs afin d'estimer les besoins en termes des efforts d'entraînement des axes. Un calcul par la méthode des éléments finis est réalisé pour déterminer les déplacements et les contraintes subis par la structure du robot

L'étape de réalisation du prototype est réservée au chapitre cinq.

Enfin nous terminons notre travail par une conclusion générale qui fera la synthèse de notre travail en ouvrons de nouvelles perspectives.

Chapitre I :
Étude préliminaire du projet

Chapitre I : Etude préliminaire du projet

I.1. Introduction :

Ce chapitre concerne les étapes préliminaires du projet. Cette étude vise à vérifier la faisabilité technico-économique du projet et à mettre en évidence les objectifs du marché, les développements technologiques et les contraintes liés à sa réalisation.

I.2. Contexte du projet et Problématique :

Un robot est un système mécanique multifonctionnel, reprogrammable et contrôlé automatiquement à plusieurs degrés de liberté, qui peut être soit fixe, soit mobile. Il a été largement utilisé jusqu'à présent dans diverses applications d'automatisation industrielle.

Depuis la dernière décennie, d'autres domaines d'application sont apparus : médical, service (spatial, sécurité civile,...), transport, sous-marin, divertissement,..., où le robot travaille soit de manière autonome, soit en coopération avec un opérateur pour réaliser des tâches complexes.

On peut distinguer trois grandes classes de robots : les robots manipulateurs, qui imitent le bras humain, les robots marcheurs, qui imitent la locomotion des humains, des animaux ou des insectes et les robots mobiles, qui ressemblent à des voitures.

Les termes adaptabilité et polyvalence sont souvent utilisés pour souligner la flexibilité d'un robot.

- L'adaptabilité signifie que le robot est capable d'ajuster son mouvement pour se conformer aux changements environnementaux pendant l'exécution des tâches.
- La polyvalence signifie que le robot peut effectuer une variété de tâches (ou la même tâche de différentes manières sans modifier la structure mécanique) ou la même tâche de différentes manières sans changer la structure mécanique ou le système de commande.

Un robot est composé des sous-systèmes suivants :

- **Mécanisme** : consiste en une structure mécanique articulée actionnée par des actionneurs électriques, pneumatiques ou hydrauliques, qui transmettent leur mouvement aux articulations à l'aide de systèmes de transmission appropriés.

- **Les capacités de perception** : elles aident le robot à s'adapter aux perturbations et aux changements imprévisibles de son environnement. Elles sont constituées de capteurs internes qui fournissent des informations sur l'état du robot (positions et vitesses des articulations), et de capteurs externes pour obtenir des informations sur l'environnement (détection de contact, mesure de distance et vision artificielle).
- **Le contrôleur** : il réalise les objectifs de la tâche souhaitée. Il génère les signaux d'entrée pour les actionneurs en fonction des instructions de l'utilisateur et des sorties des capteurs.
- **Interface de communication** : l'utilisateur y programme les tâches que le robot doit effectuer.
- **Cellule de travail et dispositifs périphériques** : constituent l'environnement dans lequel le robot travaille.

La robotique est donc une science multidisciplinaire, qui nécessite une formation en mécanique, en automatique, en électronique, en traitement du signal, en communication, en informatique,...etc [1].

Les robots sont classés sur la base de leurs structures, (voire figure I-1) :

- Robots linéaires (y compris les robots cartésiens et portiques).
- Les robots SCARA.
- Robots articulés.
- Robots parallèles (delta).
- Robots cylindriques.


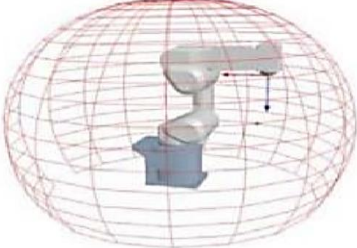


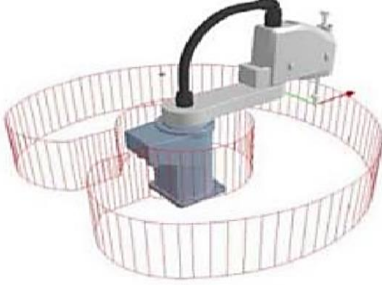

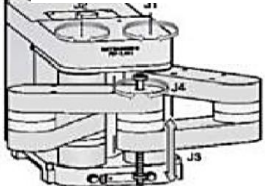
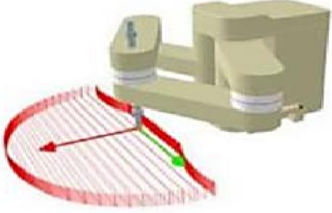

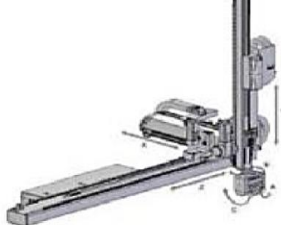



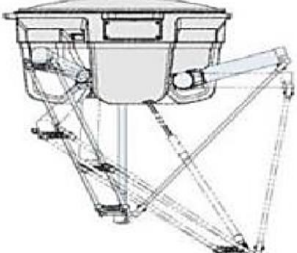

Architecture	Enveloppe	Photo
<p>Robot articulé</p> 		
<p>Robot SCARA</p> 		
<p>Robot SCARA</p> 		
<p>Robot cartésien</p> 		
<p>Robot parallèle</p> 		

Figure I-1: Types des robots [2].

Les robots Pick and Place sont couramment utilisés dans l'environnement de fabrication moderne. Généralement relégués à des tâches simples, répétitives et monotones pour lesquelles les robots excellent naturellement, ils sont utilisés de nombreuses façons, selon le produit manipulé et le besoin d'automatisation du fabricant.

Le terme Pick and Place fait référence à toute application dans laquelle une pièce est prélevée à un endroit, déplacée et placée à un autre. Il est surtout associé aux applications d'emballage et de palettisation. Cela peut être une tâche critique dans les processus de fabrication à grand volume.

Il existe plusieurs types de robots Pick and Place, notamment : Bras robotisé, Delta, Scara, Cartésien et les robots à six axes , (voire figure I-2) [3].

L'idée du projet est de réaliser un robot à portique pour les opérations de Pick and Place selon un cahier de charge bien défini, permettant de transporter et de positionner un objet de manière fiable tout en atteignant la vitesse, l'accélération et la précision nécessaires.



Bras robotisé



Delta (pour l'industrie agroalimentaire)



Cartésien



Scara

Figure I-2 : Types des robots Pick and Place [4].

I.3. Formulation préliminaire du projet :

La formulation préliminaire est la première phase d'un projet. Elle est fondamentale, car elle doit permettre de préciser les enjeux du projet, de conforter le bienfondé de son existence ou de la rejeter.

I.3.1. Analyse du besoin :

I.3.1.1. Diagramme Bête à cornes :

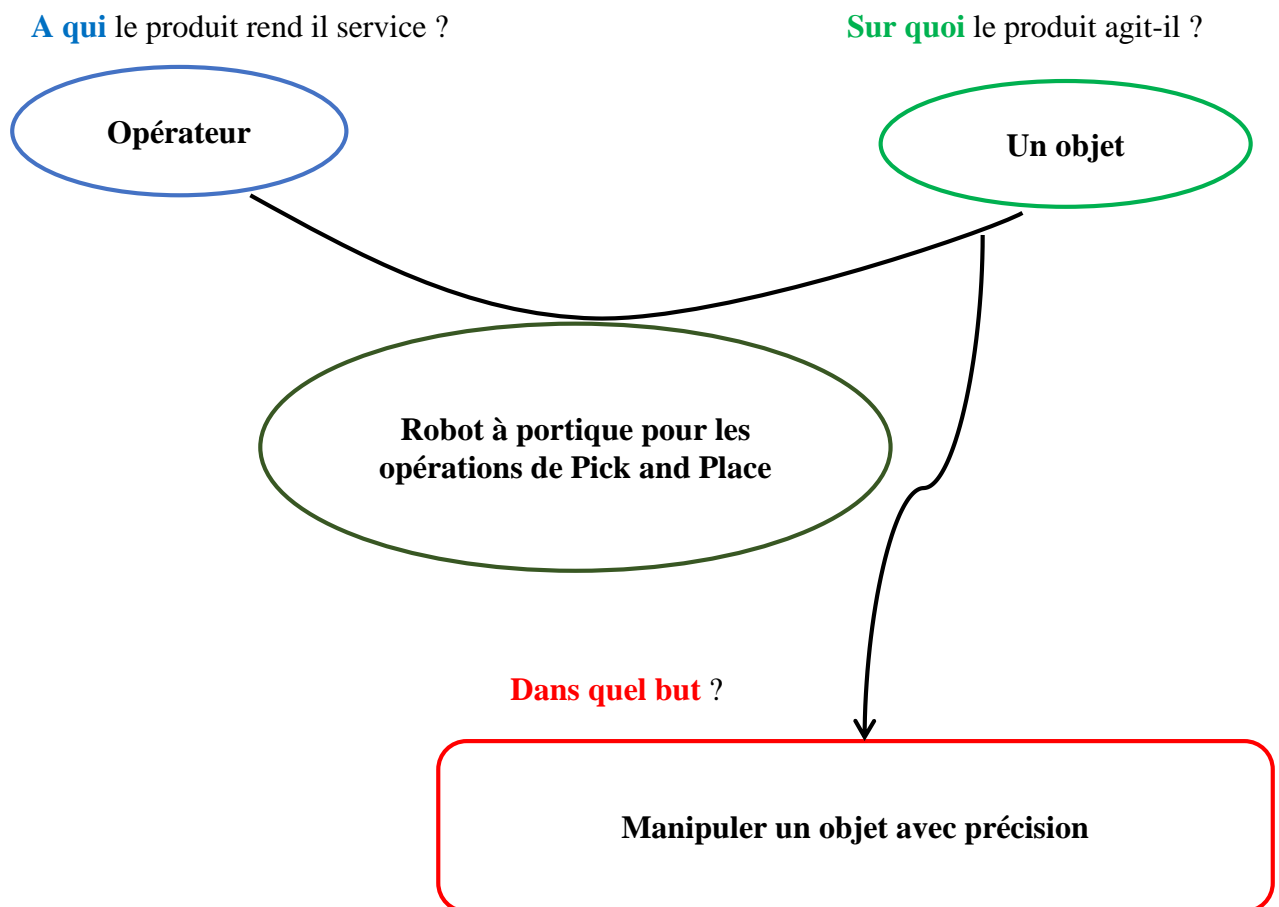


Figure I-3: Bête à cornes

I.3.1.2. Enoncé le besoin :

Le produit rend service à l'opérateur en lui permettant de manipuler des objets de différentes formes avec une grande précision.

I.3.2. Validation du besoin :

Pour valider l'expression du besoin, il faut se poser les questions complémentaires suivantes :

- Pourquoi le système existe-t-il ?

Des opérations de positionnement, de palettisation, d'assemblage, de soudage, d'indexation, d'emballage, le contrôle de qualité et d'autres processus de manutention.

- Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître ou évoluer le besoin ?

Cette question permet de valider la stabilité du besoin, elle permet aussi d'anticiper les évolutions du besoin.

Les robots sont tout simplement plus rapides que les opérateurs humains moyens. Cela signifie que lorsque le débit devient une préoccupation, l'automatisation doit être une considération primordiale.

Les robots Pick and Place peuvent être personnalisés pour répondre à des exigences de production spécifiques, et ils sont facilement programmables afin de pouvoir être utilisés pour de multiples applications. Bien ils sont souvent de petite taille et légers, ce qui les rend idéaux pour une utilisation dans des applications où l'espace est limité.

L'évolution technologique d'autres types de robots autres que ceux cités précédemment semble aujourd'hui encore limitée ou inexistante.

Dans le contexte défini ci-dessus, le risque de disparition est faible. Le besoin est validé par conséquent, le projet est stable.

I.4. Préfaisabilité du projet :

Pour savoir si un projet est faisable, il faut que les objectifs de conception soient raisonnables et techniquement réalisables compte tenu des ressources existantes.

Le pré-projet doit être confronté aux réalités de l'environnement.

I.4.1. Définition des ressources :

- Les connaissances scientifiques : mécanique, informatique, automatique, électronique.
- Les connaissances techniques : d'ajustage, de soudage, de montage, ...

- Ressources documentaires : bibliothèque de la faculté, ressources en ligne, cours, ...
- Ressources logiciels: Solid Works 2022, ANSYS, Arduino IDE, KeyShot11...
- Ressources matérielles : machines de tournage, fraisage, perçage, soudage, ...
- Ressources humaines : encadreurs, enseignants, ingénieurs de laboratoires.
- Ressources financières : autofinancement, aides financières, ...

I.4. 2. Estimation des couts :

Pour estimer les couts de l'ensemble du notre projet on a utilisé la méthode suivante [2] :

- Par expérience : prix associés à la mise en œuvre d'une technique donnée, un concept préliminaire ou encore un ensemble de caractéristiques d'un produit (matériaux, pièces, méthodes de fabrication, etc.).
- Par similitude : comparaison avec un produit similaire existant sur le marché.

Le cout du projet est estimé à environ 350000.00 DA

I.5. Échéancier :

L'échéancier de projet permet d'inventorier l'ensemble des activités du projet, en identifiant les dates de début et de fin de projet. Il faut connaitre aussi le temps alloué à la réalisation du projet.

Dans notre cas :

- Temps alloué à la réalisation du projet : 5 mois
- Début du projet : janvier 2022.
- Fin du projet : juin 2022.

I.6. Conclusion :

Cette étude préliminaire a permis d'approfondir le projet et de définir ses besoins et leur stabilité.

Chapitre II :
Étude conceptuelle du projet

Chapitre II : Etude conceptuelle du projet

II.1. Introduction :

Dans ce chapitre la configuration générale du système est déterminée sur la base de l'étude conceptuelle.

II.2. Analyse fonctionnelle :

L'analyse fonctionnelle fournit une méthode à la fois technique et pédagogique qui s'inscrit dans une démarche rationnelle de construction des savoirs et des savoirs faire, et apporte des repères suffisants pour permettre d'analyser, choisir et utiliser un équipement, quelque qu'il soit et quel que soit les évolutions technologiques prévisibles ou non.

Dans l'analyse fonctionnelle d'un équipement, l'objet technique remplit une fonction déterminée qui répond au besoin d'un utilisateur lui-même conditionné par différents facteurs (techniques, économiques, réglementaires, sociologiques...). La fonction ainsi déterminée est décomposée en sous-fonctions de plus en plus simples auxquelles on apportera des solutions techniques [5].

L'analyse fonctionnelle est divisée en deux parties :

- Analyse fonctionnelle externe.
- Analyse fonctionnelle interne.

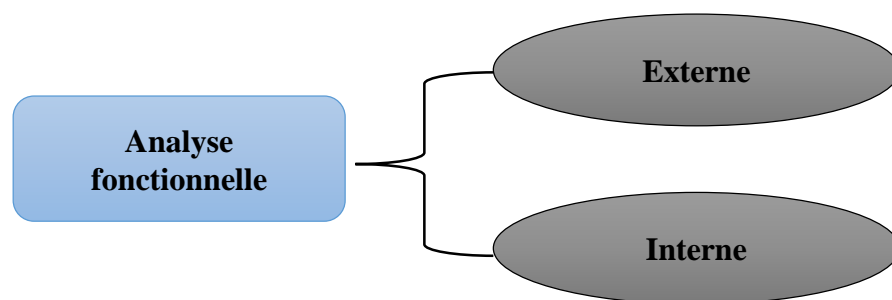


Figure II-1 : Analyse fonctionnelle

II.3. Analyse fonctionnelle externe :

L'analyse fonctionnelle externe est une méthode qui décrit le point de vue de l'utilisateur, cette étude est basée sur un besoin pour définir les fonctions attendues d'un produit.

Pendant cette période d'analyse le produit n'est pas encore existant et c'est une « boîte noire » capable de fournir des services dans son environnement durant son cycle de vie [6].

II.3.1. Identification des éléments du milieu extérieur :

Pour identifier les fonctions du produit, il faut être capable de décrire son environnement (appelé « Milieu Extérieur »). Toutes les entités qui sont identifiées comme extérieures au produit sont appelées Eléments du Milieu Extérieur (E.M.E).

Un E.M.E. doit pouvoir être défini de façon objective pour tous les protagonistes de l'étude. Si on ne peut pas définir entièrement un élément par des critères objectifs, alors cet élément n'est pas un élément du milieu extérieur [6].

L'examen de l'environnement du système, conduit à :

- Identifier les composantes extérieures (tout ce qui est en contact direct ou indirect avec le produit).
- Etablir les relations entre le produit et les composantes extérieures en termes de fonctions appelées fonctions de service.

Dans notre cas, les éléments du milieu extérieur sont :

- Opérateur
- Objet
- Environnement
- Milieu ambiant
- Energie
- Normes
- Commande (contrôle)
- Temps
- Prix

II.3.2. Diagramme des interacteurs :

Le diagramme suivant donné par la figure II-2 représente le diagramme des interacteurs du système avec les éléments du milieu extérieur appelé aussi diagramme de la pieuvre du système.

Les fonctions de service retenues pour le reste de l'étude se décomposent en : Fonctions principales notées FP et les fonctions contraintes notées FC.

- FP : Fonction de service qui met en relation deux EME ou plus, via le produit.
- FC : Fonction de service qui met en relation le produit avec un seul EME.

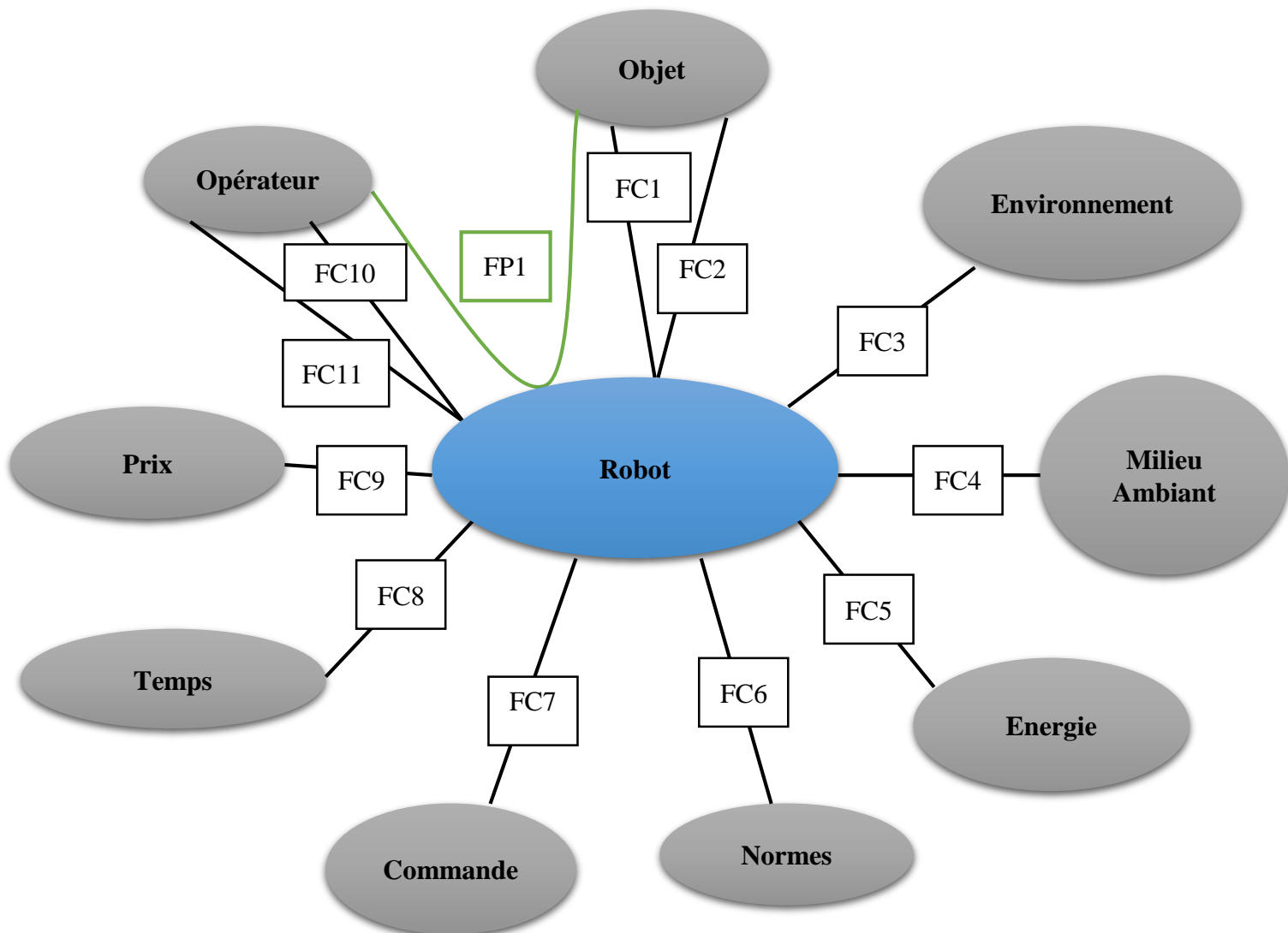


Figure II- 2 : Diagramme Pieuvre du système en phase conception

II.3.2.1. Les fonctions du service :

- FP1 : manipuler un objet avec précision.
 FC1 : respecter la charge à manipuler.
 FC2 : ne pas abimer l'objet.
 FC3 : respecter l'environnement.
 FC4 : protéger le robot du milieu ambiant.

FC5 : utiliser l'énergie électrique.

FC6 : respecter les normes de sécurité pour les utilisateurs (la sécurité des employés).

FC7 : permettre la commande (le contrôle) du robot.

FC8 : respecter le temps de la conception et la réalisation.

FC9 : être commercialisé à un prix raisonnable.

FC10 : être esthétique.

FC11 : facile à mettre en œuvre par l'utilisateur.

II.4. Analyse fonctionnelle interne :

L'analyse fonctionnelle interne, décrit le point de vue concepteur en charge de fournir le produit devant répondre aux besoins exprimés. Le système n'est plus considéré comme une boîte noire, mais au contraire l'analyse va porter sur l'intérieur de la boîte pour comprendre ses fonctionnalités internes. Le système est considéré comme un assemblage de constituants dont chacun remplit certaines fonctions vis-à-vis des autres. L'analyse fonctionnelle interne met en évidence les fonctions techniques [6].

II.4.1. La méthode FAST :

Le diagramme FAST (Function Analysis System Technic) est un outil graphique qui permet de traduire chaque fonction de service en fonctions techniques, puis en solutions techniques. Dès lors que les fonctions de services sont identifiées et organisées de la gauche vers la droite, cette méthode les ordonne et les décompose logiquement pour aboutir aux solutions techniques de réalisation.

Ce diagramme est basé sur une technique interrogative. En partant d'une fonction principale, il présente les fonctions dans un ordre logique on doit pouvoir trouver autour les réponses aux trois questions définies ci-dessous pour chaque fonction technique indiquée dans un rectangle [6].

- **Pourquoi** ? une fonction doit-elle être assurée
- **Comment** ? cette fonction doit-elle être assurée ?
- **Quand** ? cette fonction doit-elle être assurée ?

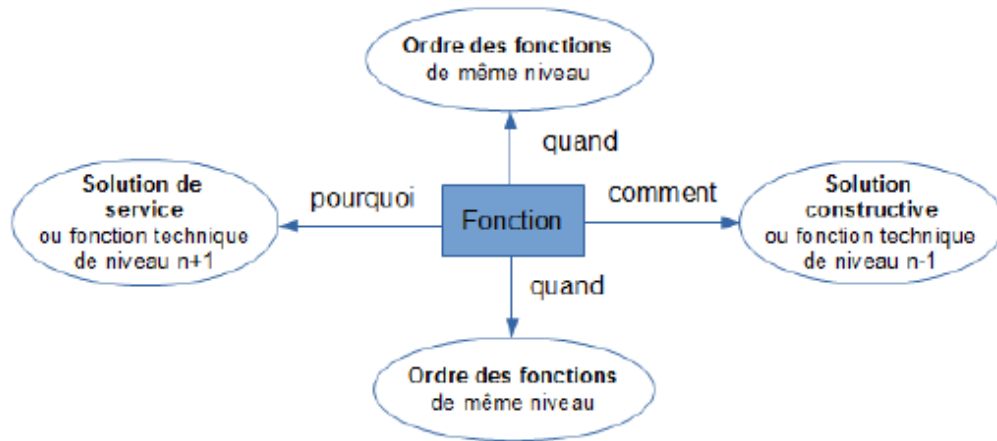


Figure II- 3 : La méthode de FAST

Le diagramme FAST de la fonction principale : ‘**Manipuler un objet avec précision**’ est donné par la figure II-4 :

II.5. Structure fonctionnelle du projet :

Il est très important de remarquer qu’après la réalisation de l’arbre fonctionnel, les sous-systèmes du produit apparaissent et qui sont donnés par le tableau II-1 :

Tableau II- 1 : Identification des sous systèmes

Fonctions techniques	Sous système
Déplacer l’objet suivant l’axe X	Sous système de déplacement suivant X
Déplacer l’objet suivant l’axe Y	Sous système de déplacement suivant Y
Déplacer l’objet suivant l’axe Z	Sous système de déplacement suivant Z
Piloter les trois axes	Sous système de commande
Prenez l’objet	Sous système de préhension

Ces cinq sous-systèmes couvrent tous les aspects de la conception sur lesquels il faudra travailler pendant la phase de recherche de concept. Voir la structure fonctionnelle du système dans la figure II-5 :

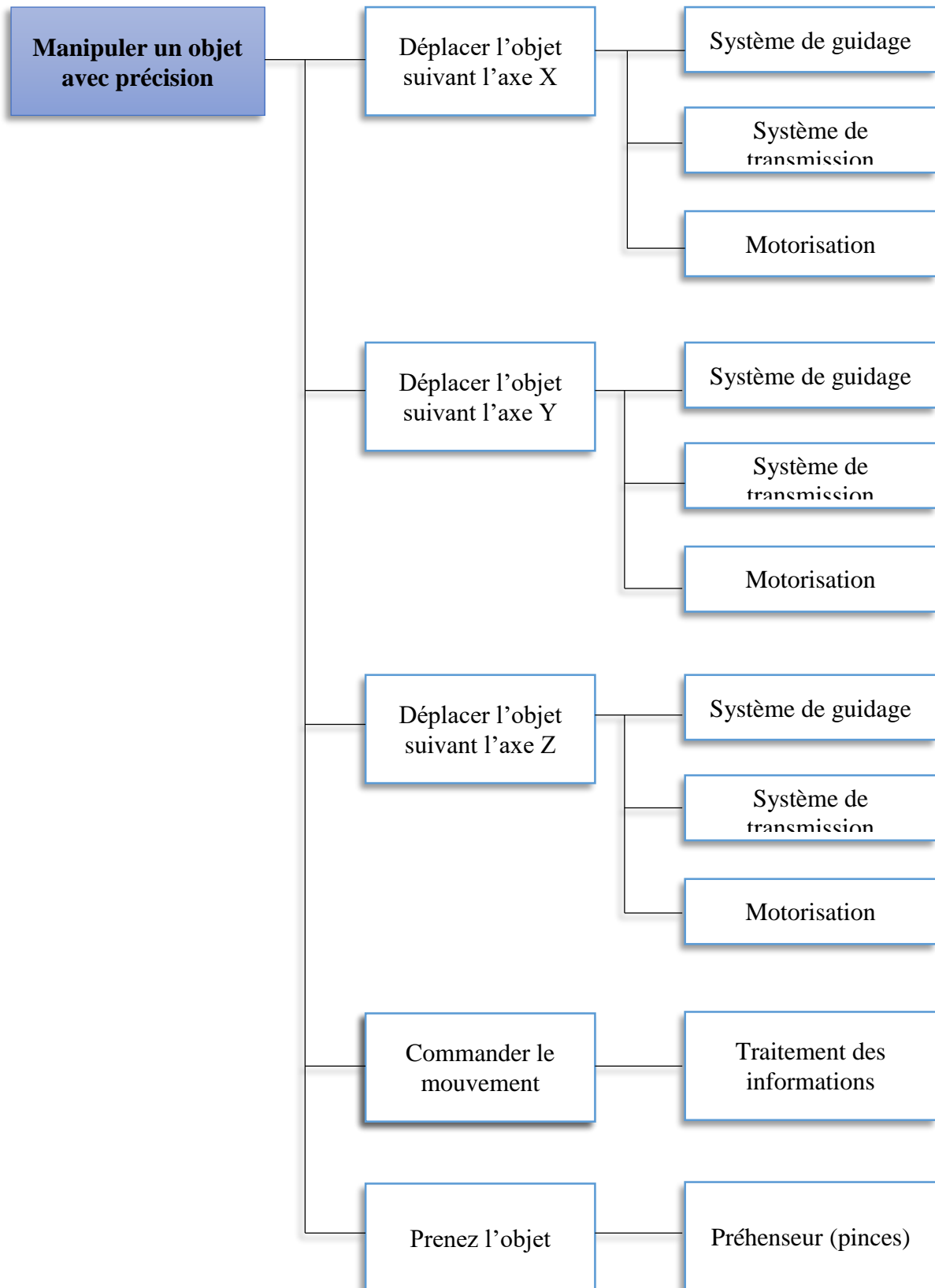


Figure II- 4 : Diagramme FAST de la fonction principale

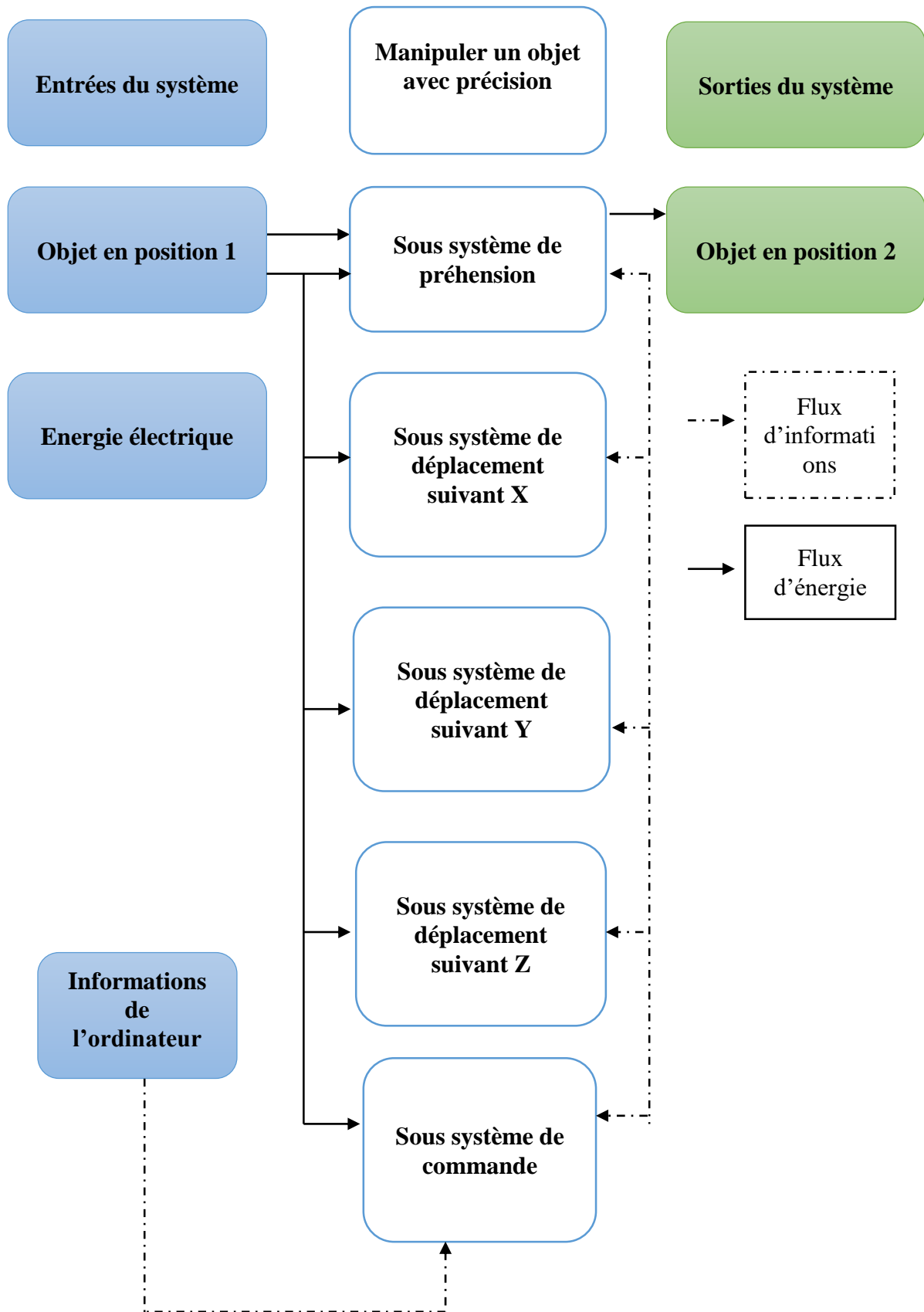


Figure II- 5 : Structure fonctionnelle du système

II.6. Cahier des charges fonctionnel du robot :

Le cahier des charges fonctionnel est un document formalisant un besoin, détaillant les fonctionnalités attendues du système, ainsi que les contraintes (techniques, réglementaires, budgétaires ...) auxquelles il est soumis.

Le cahier des charges fonctionnel de la machine est donné par le tableau II-2 :

Tableau II- 2 : Cahier des charges fonctionnel

Repères	Fonctions	Critère d'appréciation	Niveau
FP1	Manipuler un objet avec précision	Enveloppe de travail	600x500x500 mm
		Accélération maximale	5 m/s ²
		Vitesse maximale	0.5 m/s
		Précision	± 0.5 mm
		Mode de fixation de l'objet	Minimum : un coté
		Masse de l'objet	≤ 500 g
FC2	Ne pas abimer l'objet	Ne pas déformer l'objet	Pas d'empreintes sur l'objet
FC3	Respecter l'environnement	Recyclage	Utiliser les matériaux recyclables
FC4	Protéger le robot du milieu ambiant	Chocs	Léger
		Corrosion	Acier, peinture antirouille...
		Humidité de l'aire	< 40%
		Température	De 15°C à 50°C
FC5	Utiliser l'énergie électrique	Type de générateur	Energie électrique 12V (amplificateur)
		Type de technologie	Toute technologie permettant d'assurer l'alimentation

FC6	Respecter les normes de sécurité pour les utilisateurs (la sécurité des employés)	Normes de sécurité mondiale	ISO, AFNOR, ...
FC7	Permettre la commande (le contrôle) du robot	Pilotage du robot	Commande simple avec visionnage des déplacements
FC8	Respecter le temps	Etude, conception et réalisation du robot	5 mois
FC9	Etre commercialisé à un prix raisonnable	Prix total du robot	150 000 DA
FC10	Etre esthétique	Encombrement (forme)	Dimensions compatibles
		Couleur	Doit être attractif pour être commercialisé
		Masse totale du robot	≤ 20 kg
FC11	Facile à mettre en œuvre par l'utilisateur	Mise en service du robot	Manuelle, automatique, semi-automatique
		Maintenance	Facile à monter et à démonter les pièces qui composent le robot

II.7. Conclusion :

L'objectif de ce chapitre est de développer un cahier de charge fonctionnel basé sur une analyse conceptuelle du projet. Cette analyse nous a permis de déterminer la fonction principale du robot, les fonctions internes entre les composants et les fonctions externes concernant la relation de robot avec son milieu ambiant ainsi que les utilisateurs dans une perspective combinée.

Chapitre III :
Processus de conception

Chapitre III : Processus de conception

III.1. Introduction :

Cette partie est réservée à la conception de notre système avec le choix des solutions technologiques.

III.2. Solutions technologiques :

Dans cette partie les solutions technologiquement possibles seront présentées dans le but de sélectionner les plus pertinentes.

III.2.1. Structure :

Les principaux types de structures à mouvement linéaire sont : structure en porte à faux, structure à colonne, structure à pont mobile, structure à pont fixe et structure à portique, voir figure III-1 suivante :

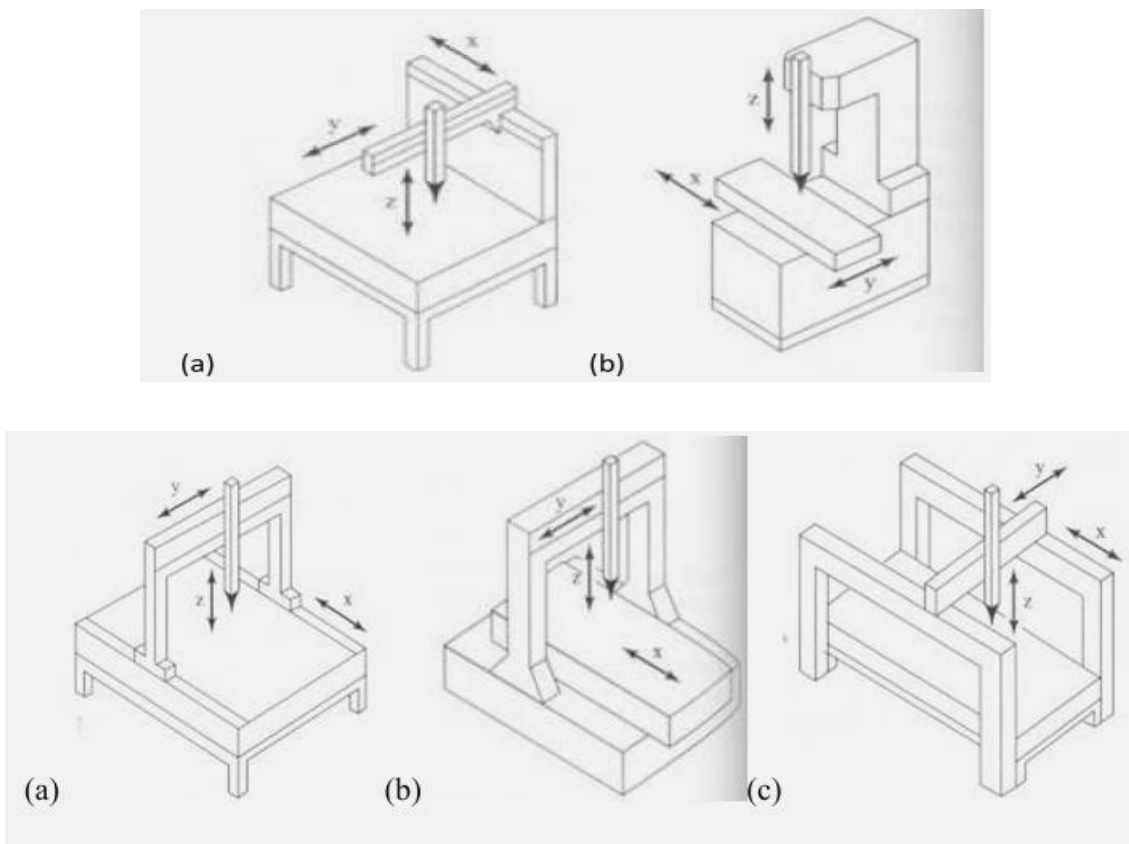


Figure III- 1 : Structures des robots linéaires [7].

(a) porte à faux, (b) colonne, (c) pont mobile, (d) pont fixe, (e) portique

Dans cette étude, la structure en porte-à-faux est choisie pour la réalisation du robot pour les opérations de Pick and Place car elle offre les avantages suivants : grande rigidité, bonne précision obtenue grâce au découplage partiel des axes, vitesse et accélération importantes grâce à la diminution de la masse mobile.

Les structures en porte à faux, illustrées sur la figure III-1 (a), présentent un minimum d'obstacles mais avec une flèche importante puisque l'axe Y est supporté uniquement d'un côté [7].

III.2.2. Sous systèmes de déplacement (X, Y et Z) :

III.2.2.1. Systèmes de transformation de mouvement :

La transformation du mouvement est une fonction mécanique qui consiste à transmettre un mouvement d'une pièce à une autre. Le mouvement recherché dans notre cas, s'obtient en transformant un mouvement de rotation donné par le moteur en un mouvement de translation des éléments du robot.

Parmi les systèmes de transformation du mouvement les plus utilisés en robotique cartésienne, on retrouve les systèmes suivants [2] :

- a. Système vis-écrou :** Le système vis-écrou permet de transformer un mouvement de rotation en un mouvement de translation en combinant les mouvements d'une vis et d'un écrou.
- b. Système pignon-crémaillère :** Le système pignon-crémaillère transforme le mouvement de rotation du pignon en un mouvement de translation de la crémaillère.
- c. Système poulies-courroie :** Les poulies crantées et la courroie associée assurent une transformation de mouvement sans glissement.

Le choix des solutions est basé essentiellement sur une comparaison avec des systèmes industriels existants et par les contraintes de coût et disponibilité sur le marché.

Le choix est porté sur une transmission par poulies courroies crantées de type GT 3 pour les trois axes X, Y et Z (coût et disponibilité). (Voir figure III-2).

- Les avantages : Souplesse de la transmission due à l'élasticité de la courroie, possibilité de faire varier l'entraxe, pas de lubrification, silencieux. Les

transmissions poulies-courroie sont efficaces dans les applications dont la charge utile à déplacer est faible. Les vitesses linéaires de déplacement et les accélérations sont élevées.

- Les inconvénients : Usure de la courroie, utilisée pour les faibles et moyennes courses de déplacement, entretien régulier.

a. Courroie de transmission GT3 :

- Matériau : caoutchouc renforcé en fibre de verre.
- Largeur : 9 mm
- Pas : 3 mm

b. Les poulies :

- Type : GT3
- Nombre des dents : 40 dents
- Matériau : Aluminium
- Supporte des courroies jusqu'à 9mm de largeur
- Pour axe de 8mm
- Avec 2 rebords
- Longueur totale : 20.65mm
- Diamètre extérieur de 37.4mm
- La Masse = 61.76 g



Figure III- 2 : Les éléments système de transmission de mouvement [11].

III.2.2.2. Systèmes de guidage :

Le guidage permet de déplacer une charge suivant une trajectoire linéaire avec une grande précision. De nombreuses solutions existent, leur objectif commun est d'offrir le jeu mécanique le plus réduit possible, le rendement maximum et une durée de vie élevée.

En général les guidages à éléments roulants suivantes sont les plus utilisés en robotique [2].

- Guidage par galets.
- Guidage par règle à billes et roulements linéaire.
- Guidage à douille à recirculation de billes.

Dans cette étude le choix est porté sur le système de guidage par règle à billes et roulements linéaire de type BLH20F (voir annexe), illustré dans la figure III-2 pour les raisons suivantes :

- Supporte une charge admissible très élevée.
- Une vitesse de déplacement élevée.
- Une excellente rigidité.
- Un jeu nul.
- Un très bon rendement.
- Une très bonne endurance mécanique.

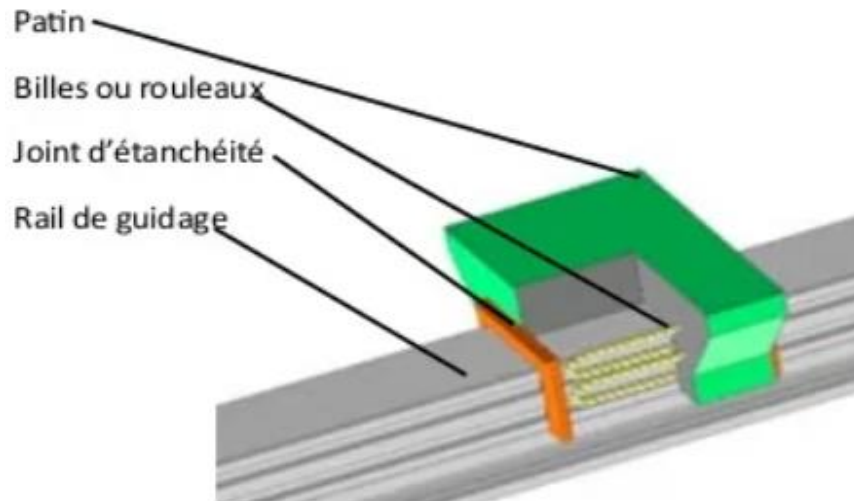


Figure III- 3 : Guidage par règle à billes et rouleaux linéaire [8].

III.2.2.3. Motorisation :

Les moteurs sont essentiels dans la chaîne de commande de mouvement. Ils doivent réagir rapidement aux ordres de commande, être capables de fonctionner de l'arrêt jusqu'à plusieurs milliers de tours par minute, accepter les surcharges et nécessiter le moins d'entretien possible [8].

Les moteurs peuvent être de plusieurs types :

- Les moteurs à courant continu.
- Les moteurs pas-à-pas.
- Les moteurs asynchrones.
- Les moteurs synchrones.
- Les moteurs DC brushless.
- Les moteurs linéaires.
- Les moteurs piézoélectriques.

Les moteurs électriques les plus rencontrés dans le domaine de la robotique sont essentiellement de deux types : les moteurs pas à pas et les servomoteurs DC (Direct Current) ou AC (Alternative Current).

Le servomoteur intègre dans un même boîtier, la mécanique (motoréducteur), et l'électronique, pour la commande et l'asservissement du moteur. Le servomoteur doit être

absolument utilisé en boucle fermée. Il est utilisé surtout pour les grandes vitesses de déplacement et pour une grande précision ($\pm 0.002\text{mm}$), mais son prix est nettement plus élevé à celui d'un moteur pas à pas à cause de toute l'électronique associée au système.

Un moteur pas à pas permet de transformer une impulsion électrique en un mouvement angulaire. Ce type de moteur est très courant dans tous les dispositifs où l'on souhaite faire du contrôle de vitesse ou de position en boucle ouverte [8].

On trouve trois types de moteurs pas-à-pas :

- Le moteur à réluctance variable.
- Le moteur à aimants permanents.
- Le moteur hybride. qui est une combinaison des deux technologies précédentes.

Avantages des moteurs pas à pas :

- Positionnement avec une certaine immobilisation.
- Robuste et fiable.
- Précision de positionnement relativement bonne.
- Asservissement simple (pas de boucle d'asservissement requise).
- Pas d'ajustement requis.

En raison des nombreux avantages des moteurs pas à pas : prix raisonnable, le couple du moteur est très élevé à bas régime, précision de positionnement relativement bonne et facile à installer, c'est évidemment la solution qui sera utilisée pour la motorisation des trois axes du robot. Le moteur de type Nema 23 avec un couple de 1.9 Nm est choisi.

III.3. Conception du système :

La partie conception contient les solutions techniques développées dans ce travail des sous-systèmes composants le robot.

La solution est réalisée par le logiciel Solid Works 2022.

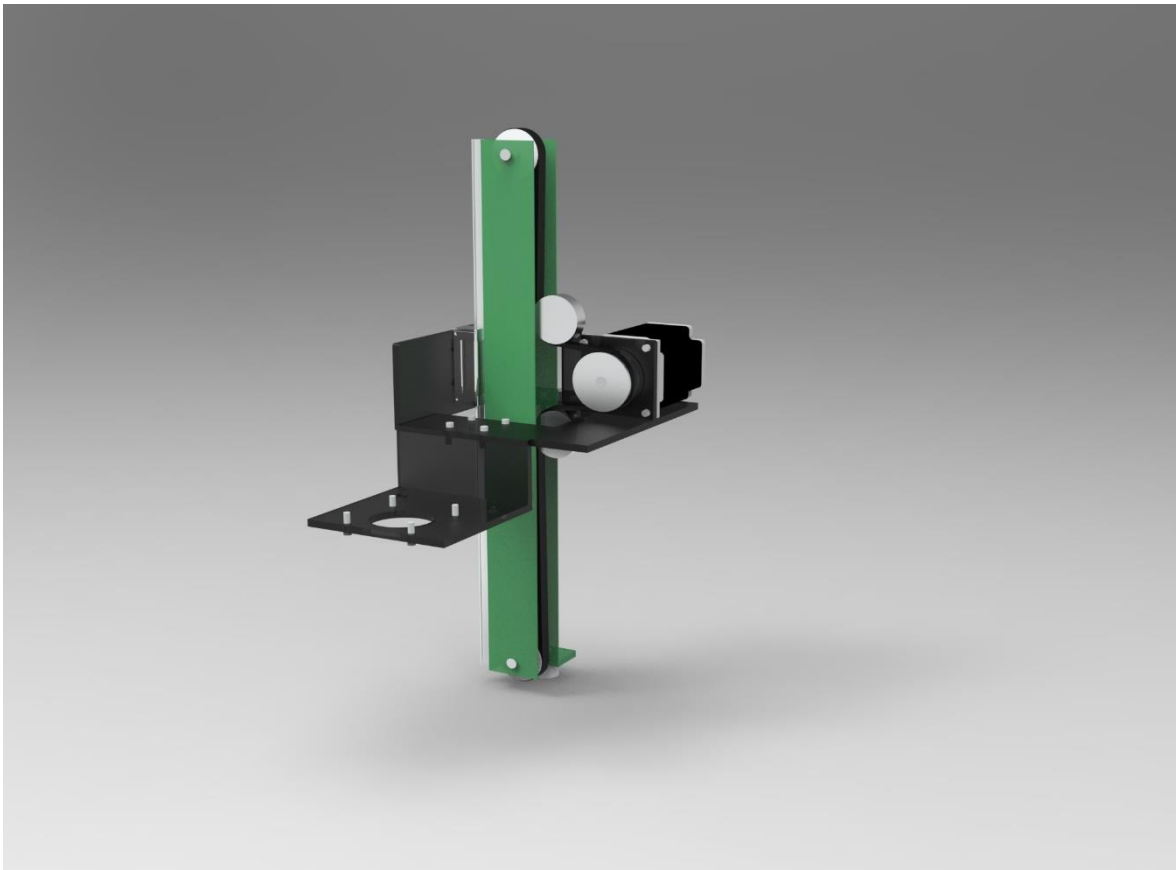


Figure III- 5 : Solution technologique de l'axe Z.

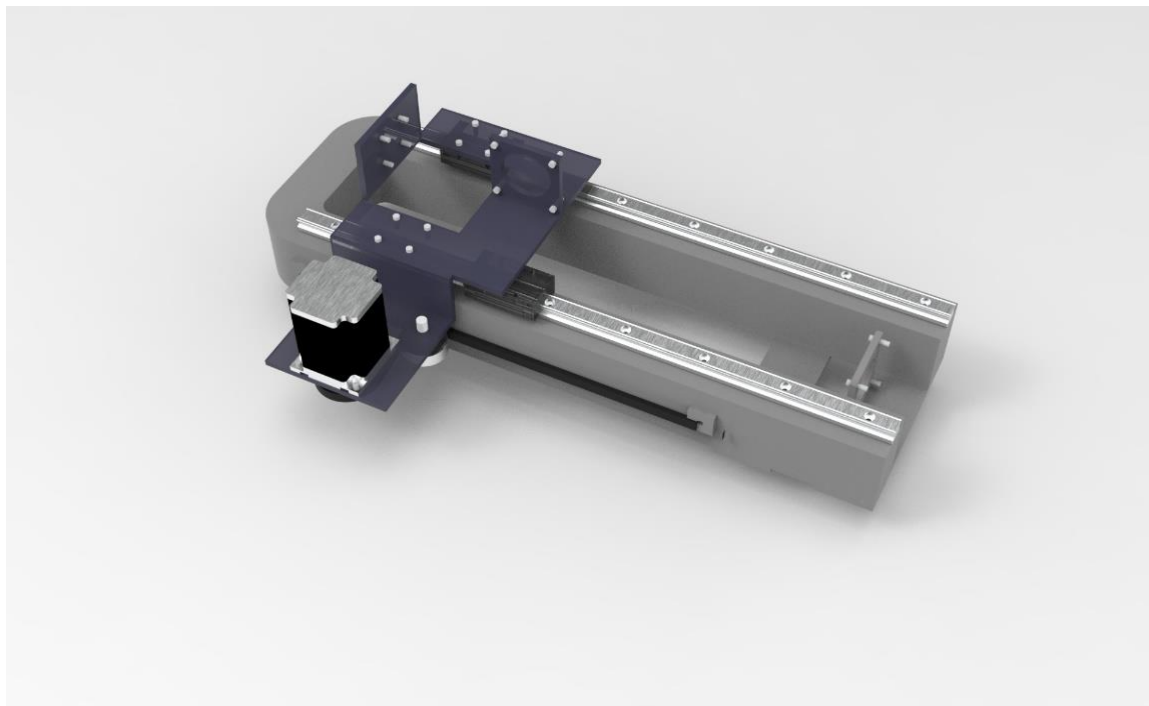


Figure III- 6 : Solution technologique de l'axe Y.

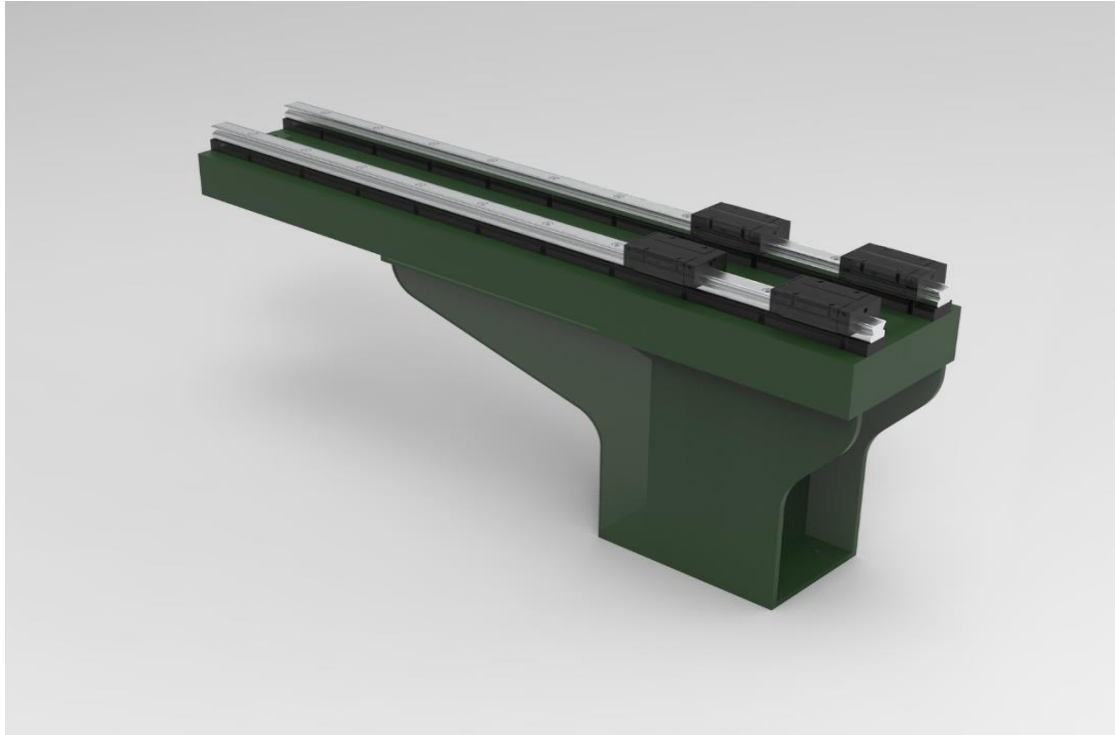
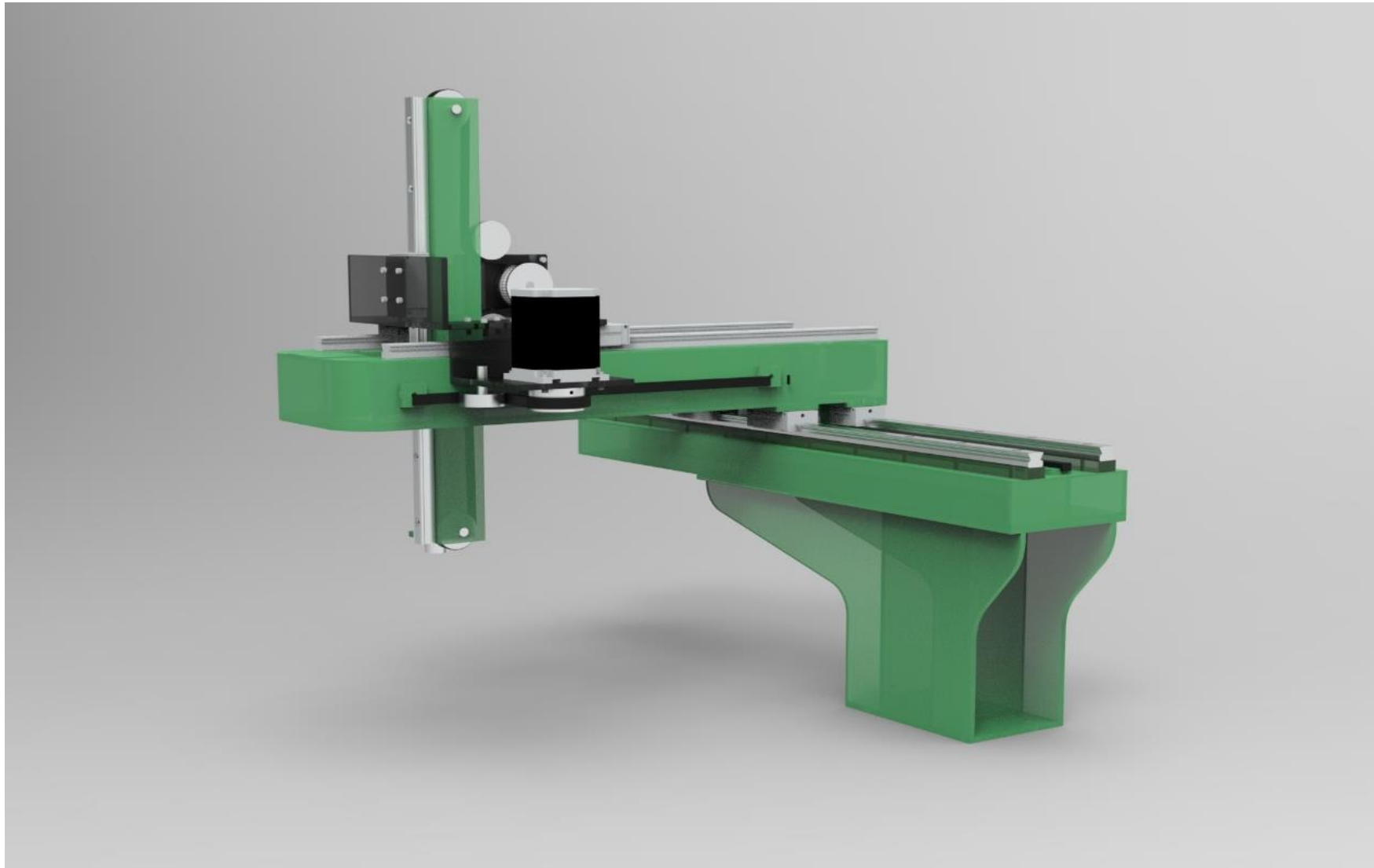


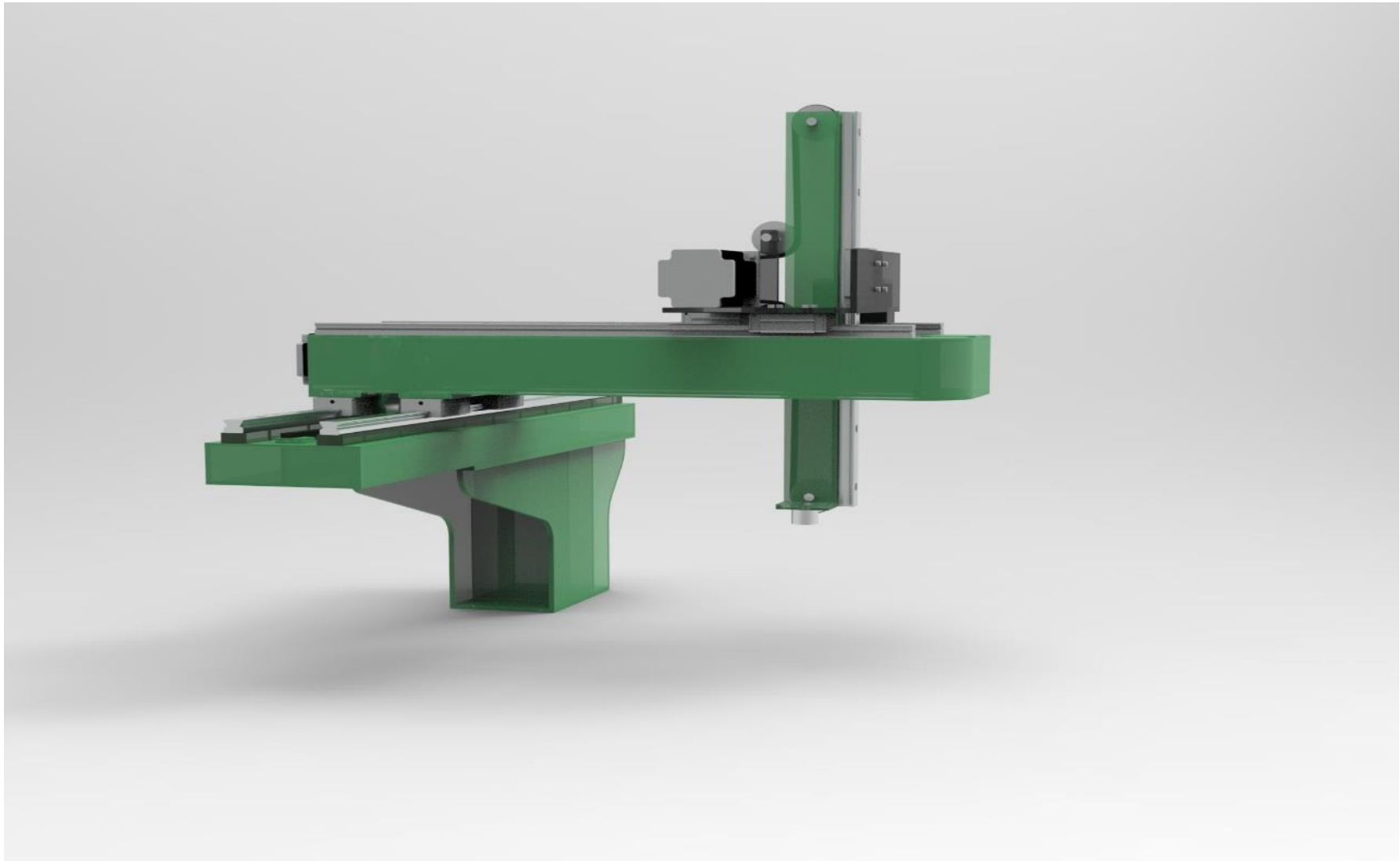
Figure III- 7 : Solution technologique de l'axe X.

III.4. Conclusion :

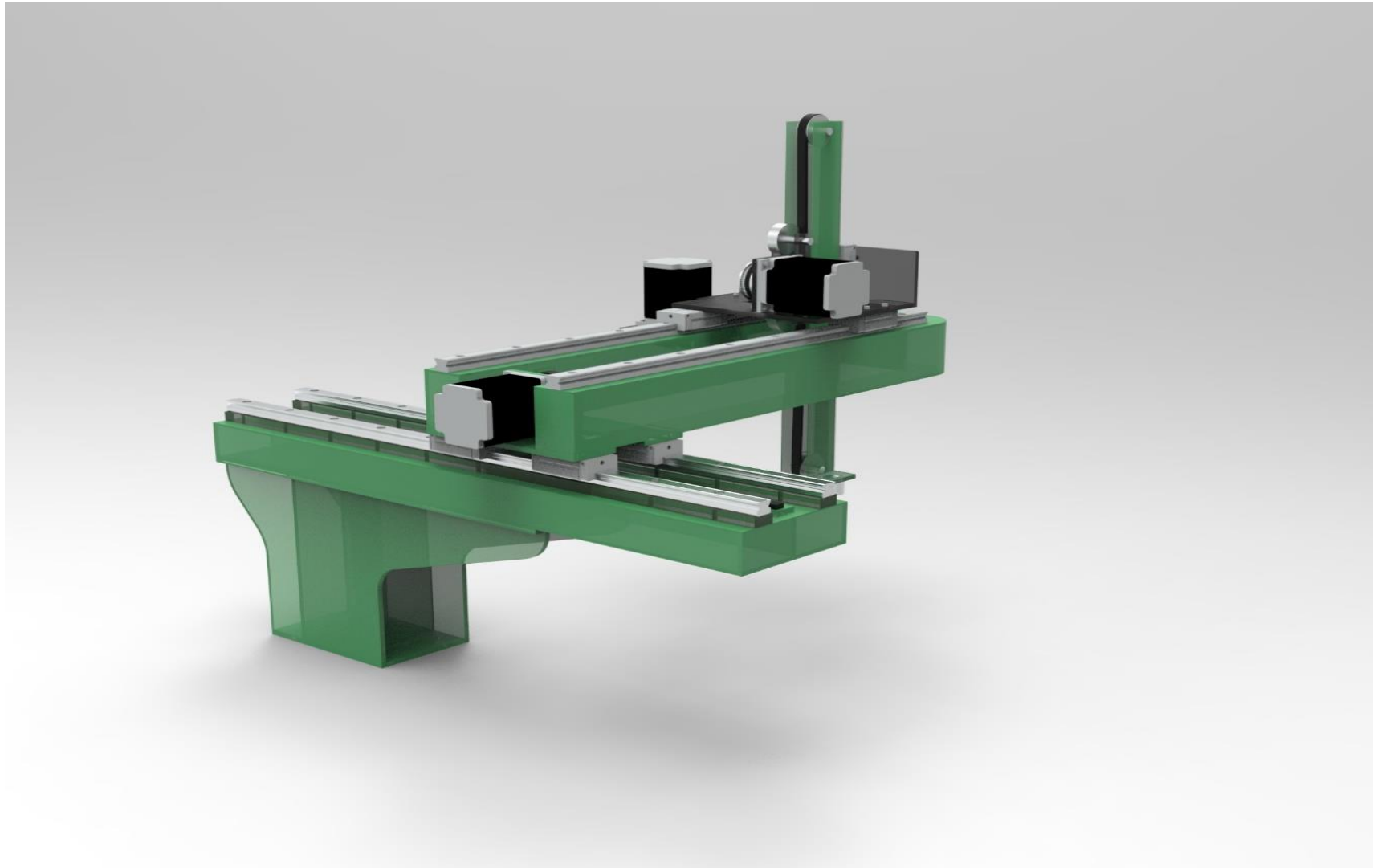
Ce chapitre est consacré à la conception du prototype, ainsi que la présentation en détail des éléments constitutants et des solutions technologiques adoptées



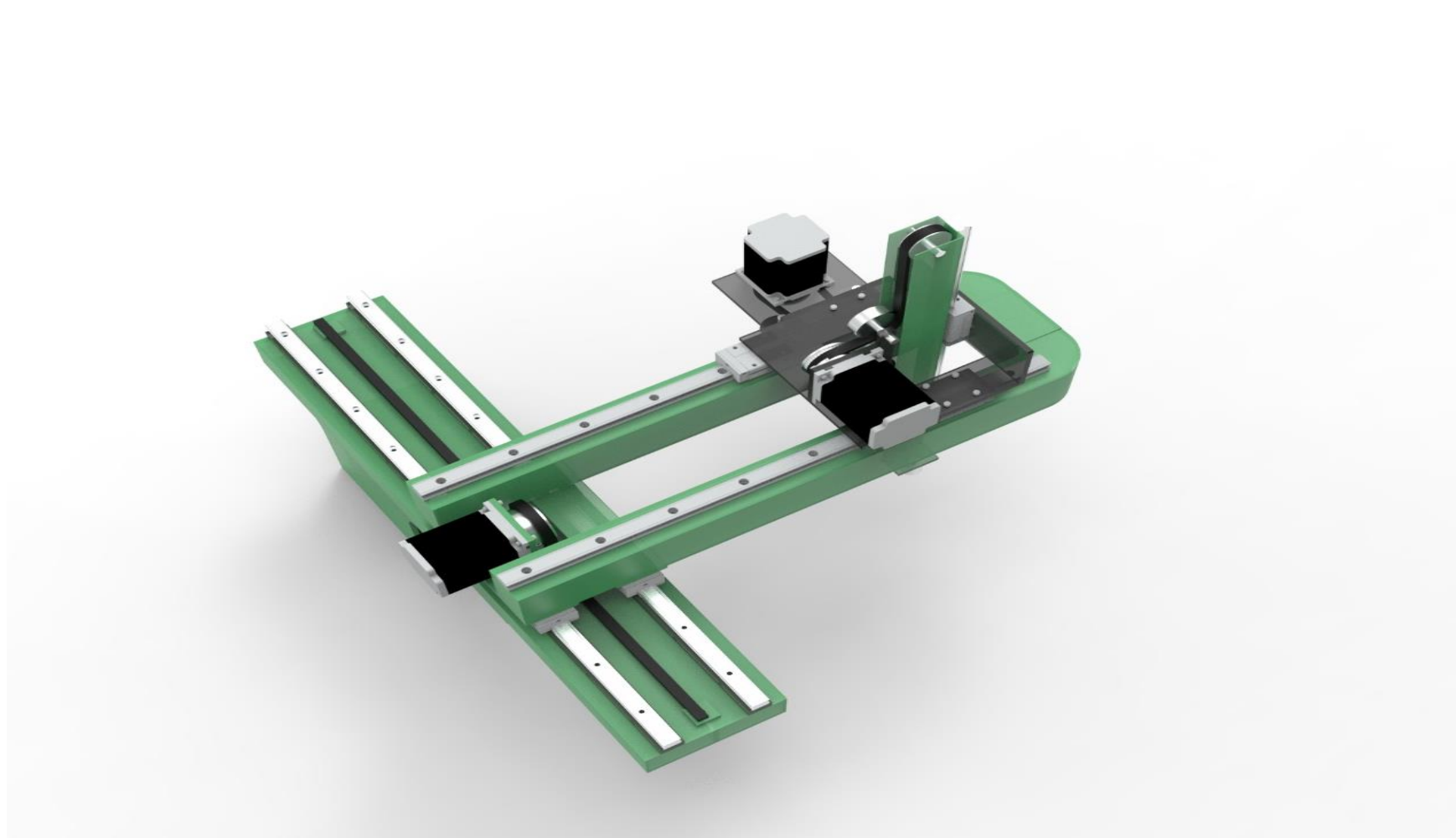
(a) vue 1



(b) Vue 2



(c) Vue 3



(d) Vue 4

Figure III- 8 : Différents vues de la modélisation 3D du robot.

Chapitre IV :
Validation des solutions technologiques
retenues

Chapitre IV : Validation des solutions technologiques retenues

IV.1. Introduction :

Ce chapitre présente la validation par un calcul de dimensionnement des solutions technologiques choisies.

IV.2. Schéma bloc d'une transmission linéaire :

L'augmentation de la productivité des machines-outils et des systèmes de positionnement (manipulateurs cartésiens, portiques,..) passe globalement par la réduction de la durée des mouvements.

L'accroissement des demandes dynamiques en termes d'accélération et de vitesse maximale conduit ces systèmes à la limite de leurs possibilités technologiques, invalidant de ce fait l'hypothèse classiquement retenue d'un comportement rigide de la charge à positionner.

La validation des solutions technologiques consiste à dimensionner les différents sous-systèmes qui composent le robot, principalement :

- La Motorisation
- Les systèmes de transmission de mouvement
- Le support

Concernant la motorisation le dimensionnement consiste à déterminer les couples et les puissances du moteur nécessaire au déplacement des différentes charges selon le cahier de charge établi au paravent.

Pour les systèmes de transmission de mouvement, un calcul de vérification sera réalisé (statique).

Concernant le support, un calcul statique permettra de vérifier la rigidité du support.

En général une transmission linéaire est composée d'un organe moteur en entrée et d'une charge à déplacer de masse M en sortie par l'intermédiaire d'un réducteur de vitesse et d'un transformateur de mouvement [2].

Le moteur d'inertie J_m produit un mouvement de rotation, caractérisé par la vitesse angulaire ω_m et un couple moteur C_m . La charge M , se déplace d'une vitesse V et d'une accélération a .

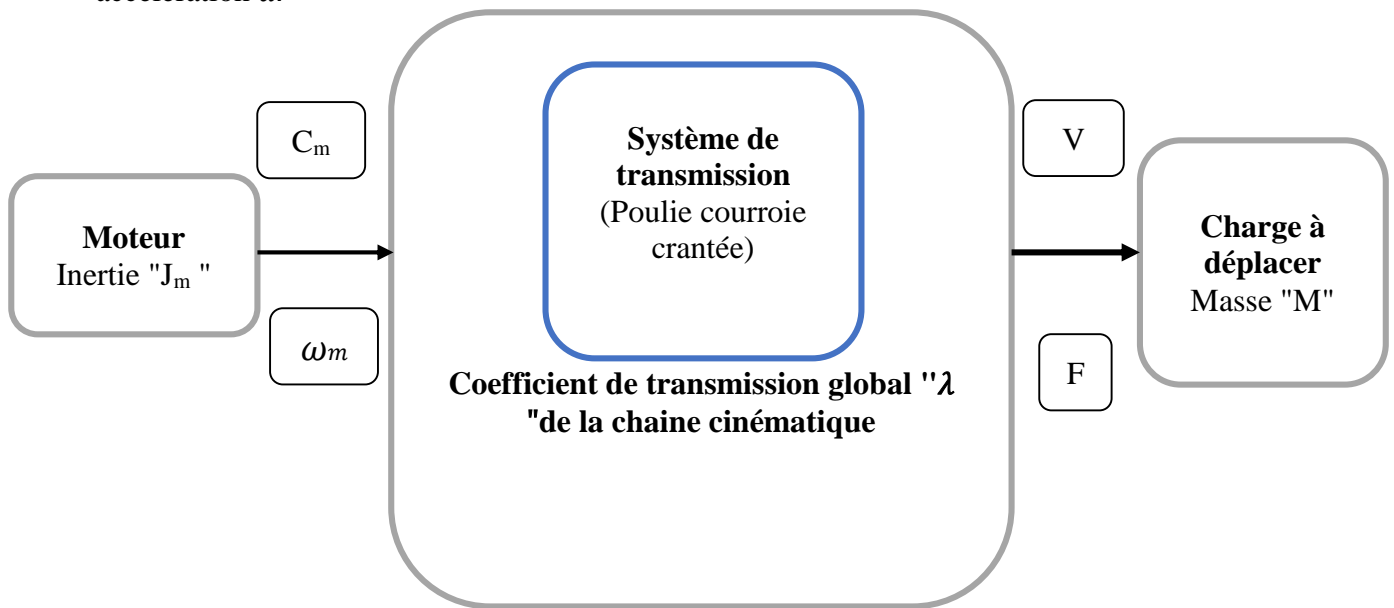


Figure IV- 1 : Schéma de la chaîne cinématique [9].

C_m : couple moteur

J_m : inertie du rotor autour de son axe

λ : coefficient de transmission global (gain en vitesse) de la chaîne cinématique :

$$\lambda = k$$

F : effort appliqué sur la charge.

V : vitesse de déplacement de la charge

En général, le cahier des charges impose un déplacement donné x_c en un temps maximal t_t dicté par le temps de cycle de la machine t_{cyc} .

On va chercher à déterminer la vitesse et l'accélération maximales à fin de dimensionner le moteur.

IV.3. Caractéristiques cinématiques du mouvement du rotor pour une loi de commande trapézoïdale :

La loi de commande utilisée est une loi trapèze en vitesse, c'est une loi à accélération constante, c'est une loi très utilisée en robotique à cause de sa simplicité, mais quand même

elle présente certains inconvénients tels que : un jerk théoriquement infini et une puissance importante en fin d'accélération [9].

Le déplacement sur les axes Z, Y ou X est commandé par une loi de vitesse trapézoïdale donnée par la figure IV-2 suivante :

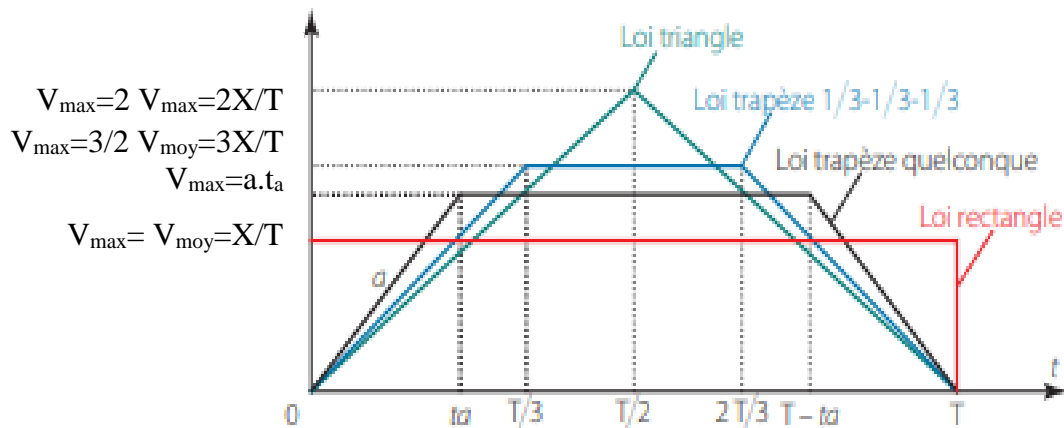


Figure IV- 2 : les lois de vitesse en trapèze pour un déplacement X en un temps T [9].

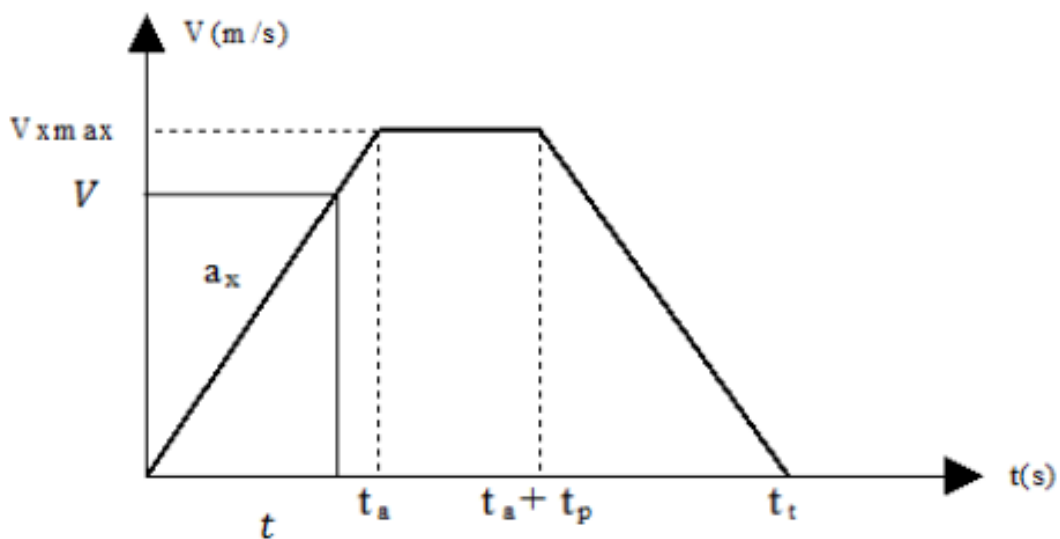


Figure IV- 3: Loi de vitesse trapézoïdale [2].

V : vitesse à l'instant t suivant l'axe de commande.

V_{max} : vitesse maximale suivant l'axe de commande.

a_x : accélération linéaire sur l'axe de commande.

t_a : temps d'accélération = temps de décélération.

t_p : temps de déplacement à vitesse constante.

t_t : temps de déplacement total.

La distance parcourue par l'axe est précisément l'aire du trapèze de vitesse, la position x_c étant l'intégrale de la vitesse :

$$x_c = \int_0^{t_t} V dt \quad (\text{IV.1})$$

D'où :

$$x_c = V_{max}(t_a + t_p) \quad (\text{IV.2})$$

Par ailleurs, la valeur de l'accélération a_x est la pente de la vitesse et donc :

$$a_x = \frac{V_{max}}{t_a} \quad (\text{IV.3})$$

D'où le temps d'accélération t_a est donné par :

$$t_a = \frac{V_{max}}{a_x} \quad (\text{IV.4})$$

On remplace (4) en (2) et on tire la course x_c :

$$x_c = V_{max} \left(\frac{V_{max}}{a_x} + t_p \right) \quad (\text{IV.5})$$

Et finalement le temps de déplacement à vitesse constante t_p est donné par :

$$t_p = \frac{x_c}{V_{max}} - \frac{V_{max}}{a_x} \quad (\text{IV.6})$$

On suivre les mêmes étapes, on peut déterminer le temps total t_t :

$$t_t = 2t_a + t_p = \frac{2V_{max}}{a_x} + t_p \quad (\text{IV.7})$$

En utilisant les deux expressions (6) et (7), on obtient :

$$t_t = \frac{2V_{max}}{a_x} + \frac{x_c}{V_{max}} - \frac{V_{max}}{a_x} \quad (\text{IV.8})$$

Ce qui nous permet aussi d'exprimer a_x en fonction de V_{max} , t_t et x_c :

$$a_x = \frac{V_{max}}{t_t - \frac{x_c}{V_{max}}} \quad (\text{IV.9})$$

IV.3.1. Conditions à respecter :

Les contraintes de distance x_c , de temps t_t et du profil cinématique exigent les conditions suivantes :

- Que l'accélération a_x ne dépasse pas un seuil maximal pour éviter des sollicitations mécaniques élevées, d'où

$$\frac{V_{max+}}{t_a} \leq a_{max} \quad (IV.10)$$

- Et que a_x ne soit pas inférieure à un seuil minimal pour éviter les régimes dynamiques prolongées et qui peuvent surchauffer le moteur :

$$a_{min} > \frac{V_{max-}^2}{x_c} \quad (IV.11)$$

IV.3.2. Puissances et couples moteur :

L'application du théorème de l'énergie cinétique au système composé de toutes les pièces en mouvement aboutit à l'expression suivante :

$$\sum C_{ma} = \sum J \cdot \dot{\omega}_m \quad (IV.12)$$

$\sum C_{ma}$: Somme des moments moteurs ramenés sur l'axe du rotor.

$\sum J$: Somme des moments d'inertie des pièces en mouvement ramenés sur l'axe du rotor, comprenant.

$\dot{\omega}_m$: L'accélération angulaire du rotor.

$$\dot{\omega}_m = \frac{\omega_m}{t_a} \quad (IV.13)$$

ω_m : La vitesse angulaire.

- Le moment d'inertie :

D'où
$$\sum J = J_m + J_{pm} + \frac{2J_g + \lambda^2 M}{\xi} \quad (IV.14)$$

J_{pm} : inertie de la poulie crantée.

J_g : inertie du galet tendeur.

ξ : rendement de transmission

Le couple moteur C_{ma} requis en phase d'accélération est donné par :

$$C_{ma} = \sum J \frac{d\omega_m}{dt} = \frac{\sum J dV}{\lambda} = \frac{a_x[(J_m) + \lambda^2 M]}{\lambda} \quad (IV.15)$$

La puissance maximale sera nécessairement atteinte en phase d'accélération et à la vitesse maximale, soit :

$$P_{max} = P_a = \frac{\sum J V_{max}^2}{\lambda^2 t_a} = \frac{\sum J}{\lambda^2} \frac{x_c^2}{t_a(t_t - t_a)^2} \quad (IV.16)$$

On peut exprimer la puissance d'accélération par :

$$P_a = M a_x V_{max} \quad (IV.17)$$

Et la puissance permanente par :

$$P_p = \frac{V_{max}}{\zeta} \quad (IV.18)$$

La puissance totale P_t est donnée par :

$$P_t = M a_x V_{max} + \frac{V_{max}}{\zeta} \quad (IV.19)$$

- Rapport d'inertie :

$$r_i = \frac{\lambda^2 M}{J_m} \quad (IV.22)$$

IV.4. Rapport de calcul :

Dans ce rapport de calcul, tous les paramètres seront basés sur les charges, les dimensions géométriques et les propriétés mécaniques des composants du robot.

Tableau IV- 1 : Données de cahier de charges.

Paramètre	Symbole	Valeur	Unité
Course de l'axe X	X_c	600	mm
Temps de la course	T_c	1.3	s

Vitesse maximale	V_{\max}	0.5	m/s
Accélération maximale	a_{\max}	5	m/s^2
Temps accélération	t_a	0.1	s
Temps	t_p	1.08	s
Rayon de la poulie	R_p	37.4	mm
Moment d'inertie du rotor	J_m	$4.8 \cdot 10^{-5}$	$Kg.m^2$
Moment d'inertie de la poulie crantée	J_{pm}	$4.5 \cdot 10^{-5}$	$Kg.m^2$
Moment d'inertie du galet tendeur	J_g	$1.74 \cdot 10^{-5}$	$Kg.m^2$
La masse à déplacer	M	6	kg
Rapport de réduction	r	1	
Coefficient de transmission	K	0.046	
Rendement globale de la transmission	ξ	0.98	
Couple crête	C_{\max}	1.74	Nm
Puissance d'accélération	P_a	15	W
Puissance a vitesse cts	P_p	0.51	W
Puissance total	P_t	15.51	W
Rapport d'inertie	r_i	264.5	

IV.5. Interprétation des résultats :

IV.5.1. Dimensionnement du moteur de l'axe x :

Nous avons choisi le même moteur Nema 23 modèle 57HD6013-03 pour les 3 axes, et les calculs seront faits uniquement pour l'axe X (le plus sollicité).

Le moteur sélectionner dans notre cas est le Nema 23 de couple développé de 1.9 Nm et le couple moteur calculé nécessaire pour déplacer la charge est 1.74 Nm, donc le choix est validé.

IV.6. Etude statique du robot :

Le robot est soumis à la charge à déplacer supportant les forces d'inerties résultantes en phase d'accélération et décélération.

Le calcul statique permet de déterminer la rigidité des organes, de vérifier la précision du robot et les contraintes appliquées.

Le calcul est effectué à l'aide de la méthode des éléments finis en utilisant le logiciel Solid Works 2022.

L'équation de la statique à résoudre est :

$$[K]\{q\} = \{F\} \quad (IV.23)$$

$[k]$: la matrice de la rigidité.

$\{q\}$: le vecteur de déplacement.

$\{F\}$: le vecteur de la charge extérieur.

IV.6.1. Paramètres de l'étude :

IV.6.2.1. Maillage :

La figure IV-4 suivante représente le maillage de l'élément de l'axe Y :

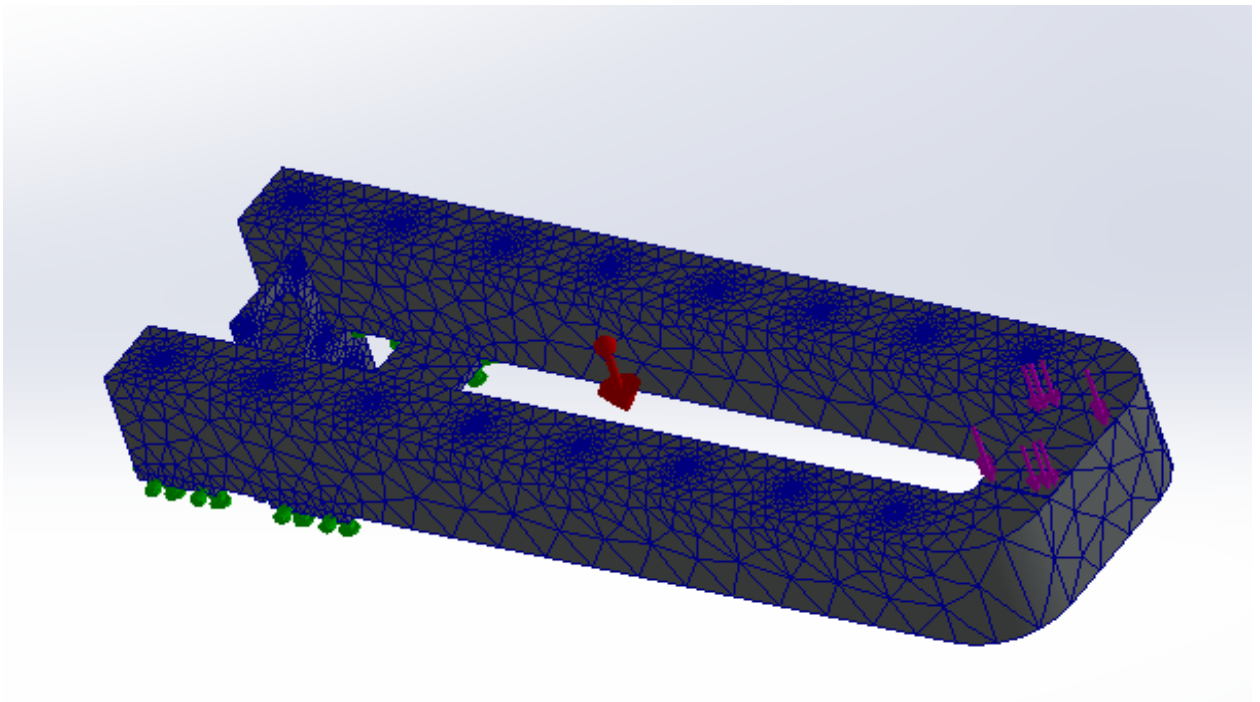


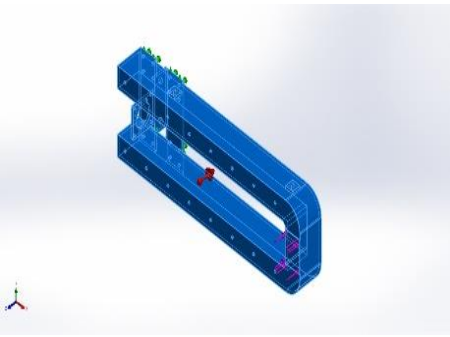
Figure IV- 4 : Maillage.

Tableau IV- 2 : Détails de maillage.

Type de maillage	Maillage volumique
Mailleur utilisé :	Maillage raccordé basé sur la courbure
Points de Jacobien pour un maillage de qualité élevée	16 Points
Taille d'élément maximum	26,7465 mm
Taille d'élément minimum	1,53073 mm
Qualité de maillage	Haute
Nombre total de nœuds	37465
Nombre total d'éléments	20076
Aspect ratio maximum	88,416
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	56,5
Pourcentage d'éléments ayant un aspect ratio > 10	6,32

IV.6.2.2. Propriétés de matériau :

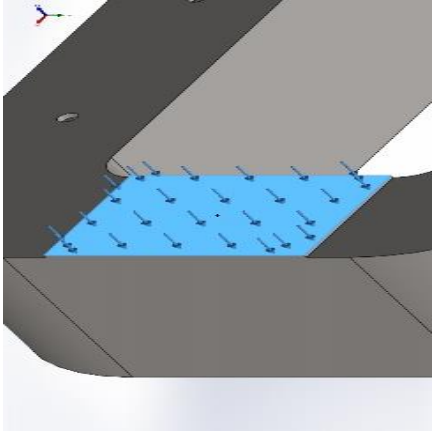
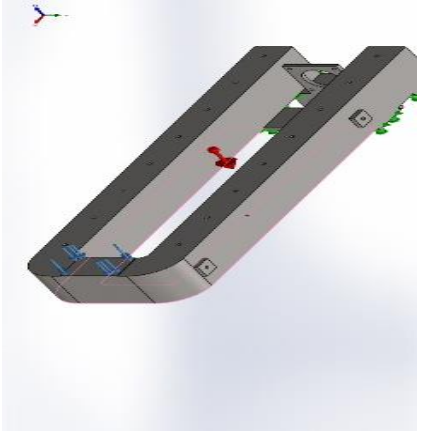
Tableau IV- 3: Propriétés de matériau.

Reference du modèle	Propriétés	
	Nom :	Acier non allié
	Type de modèle :	Linéaire élastique isotropique
	Critère de ruine par défaut :	Inconnu
	Limite d'élasticité :	$2,20594 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
	Limite de traction :	$3,99826 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
	Module d'élasticité :	$2,1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
	Coefficient de poisson :	0,28
	Masse volumique :	$7\ 800 \text{ kg/m}^3$
	Module de cisaillement :	$7,9 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
Coefficient de dilatation thermique :	$1,3 \times 10^5 \text{ /Kelvin}$	

IV.6.2.3. Actions extérieurs :

Le chargement extérieur de l'élément est illustrer par le tableau IV-4 suivant :

Tableau IV- 4: Chargement extérieur de l'élément.

Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement
<p>Force</p>		<p>Entités : 1 face(s) Type : Force normale Valeur : 42.2 N</p>
<p>Gravité</p>		<p>Référence : Plan de face Valeurs : 0 -9,81 Unités : m/s²</p>

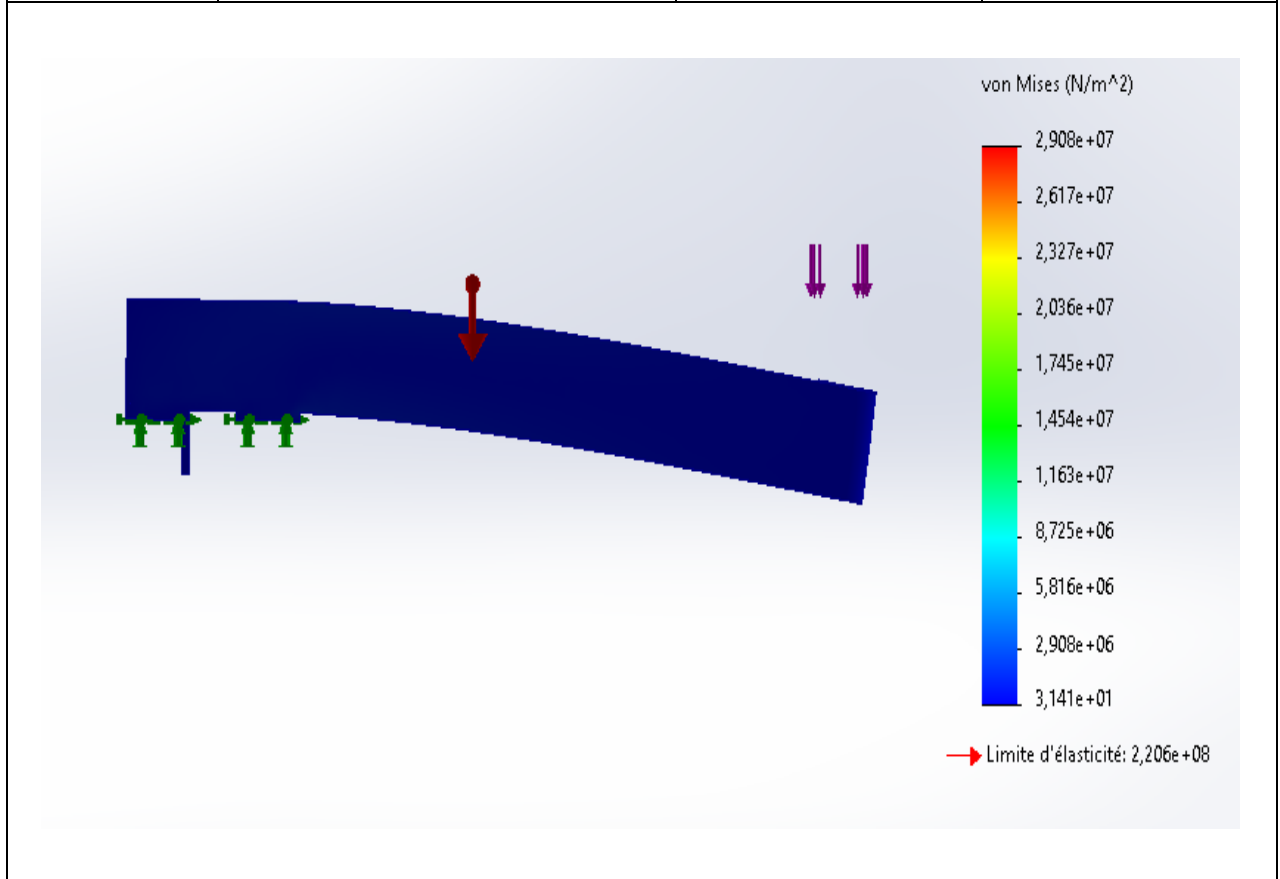
IV.6.2. Résultats de l'étude :

IV.6.2.1. Les contraintes de Von-Mises :

Les contraintes de Von-Mises sont données par le tableau IV-5 suivant :

Tableau IV- 5: Les contraintes de Von-Mises.

Nom	Type	Min	Max
Contraintes1	VON : contrainte de Von Mises	3,141 x10 ⁷ N/m ² Nœud : 209	2.908 x10 ⁷ N/m ² Nœud : 31723



On remarque que la contrainte maximale est de 2.908x10⁷ N/m² cette contrainte maximale est largement inférieur à la limite élastique du matériau constituant l'élément qui est de 2.206x10⁸ N/m², donc l'élément résiste bien aux charges extérieurs.

- **Coefficient de sécurité :**

$$\alpha_s = 7.6$$

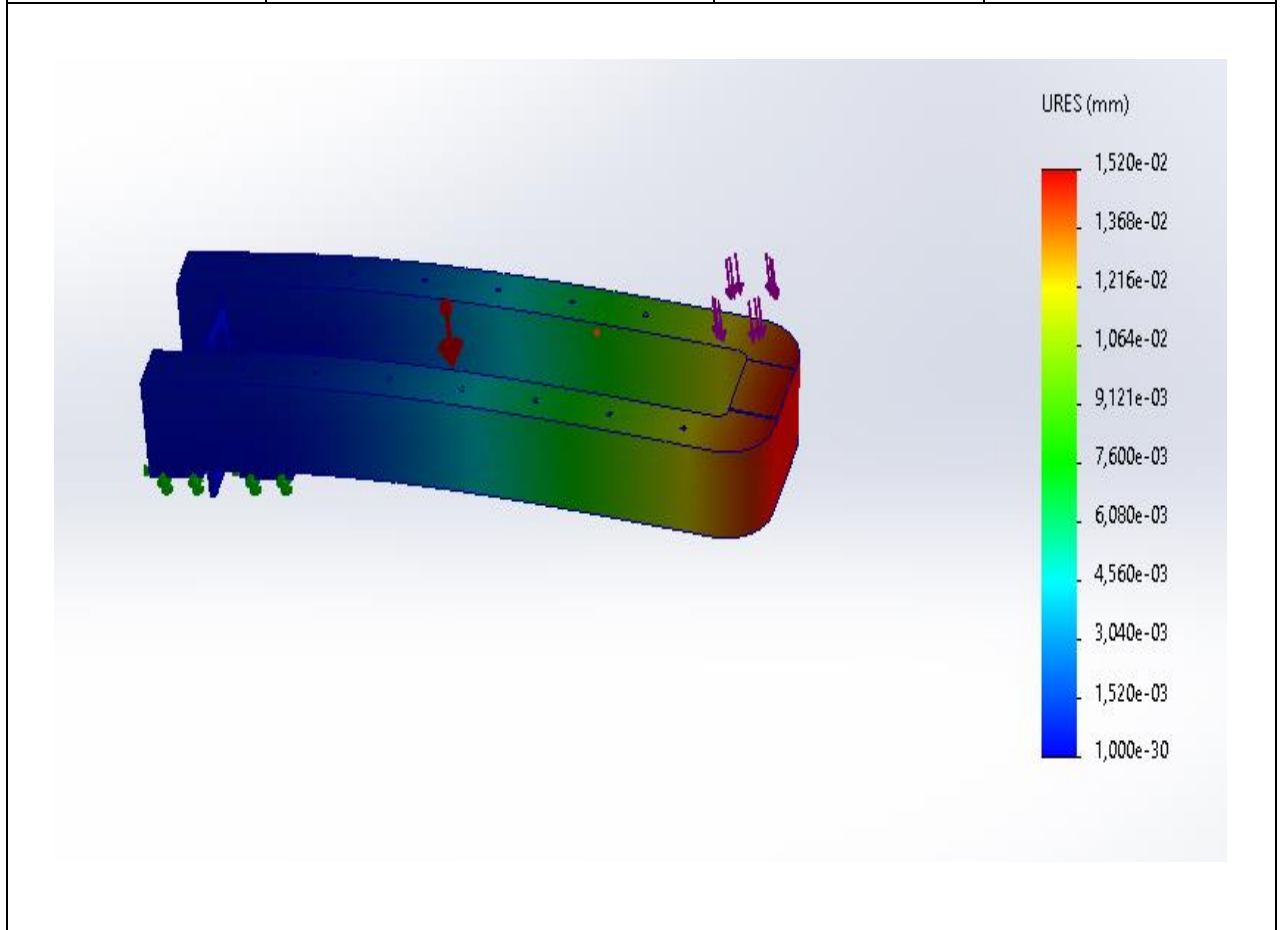
Le coefficient de sécurité obtenu est un coefficient de sécurité confortable.

IV.6.2.2. Les déplacements :

Les déplacements du l'élément sont donnés par le tableau IV-6 suivant :

Tableau IV- 6 : Les déplacements résultants.

Nom	Type	Min	Max
Déplacements1	URES : Déplacement résultant	0 mm Nœud : 24	$1,520 \times 10^{-2}$ mm Nœud : 9240



Le calcul de déplacement permet de valider la rigidité du support, on constate que le déplacement maximal est à l'extrémité de l'élément. Ces déplacements peuvent affecter la précision du robot.

Dont notre cas le déplacement maximal est de 0.015 mm, cette valeur est tout à fait acceptable si on considère que la précision retenue par le cahier de charge est de ± 0.5 mm.

IV.7. Conclusion :

Après le dimensionnement et l'estimation des besoins en termes des efforts d'entrainements des axes le choix des solutions technologiques est validé.

Chapitre V :
Réalisation du robot

Chapitre V : Réalisation du robot

V.1. Introduction :

Ce chapitre concerne la réalisation d'un prototype, les phases de réalisation sont explicitées en détails dans la suite. Le travail effectué a été fait en parallèle avec la conception en respectant les solutions technologiques proposées dans le chapitre 3.

V.2. Assemblages des sous-systèmes :

V.2.1. La réalisation de l'assemblage de l'axe X :

Les étapes de réalisation de l'axe X sont décrites ci-dessous

- Phase d'assemblage du bâti par mécano soudure, voir figure V-1.



Figure V- 1 : Bâti de l'axe X.

La découpe de la forme de bâti est faite par une d'ébarbeuse en suite une opération de soudage pour rassembler tous les pièces du bâti.

- Phase d'assemblage des deux tubes sur le bâti (figureV-2)



Figure V- 2 : Assemblage des tubes et le bâti.

La figure si dessous représente le résultat de l'assemblage par soudage des tubes sur le bâti.

- Phase de montage par boulonnage des rails sur l'assemblage précédent, (figure V-3).



Figure V- 3 : Montage des rails de guidage.

- Phase montage complète du l'axe X, figure V-4 :

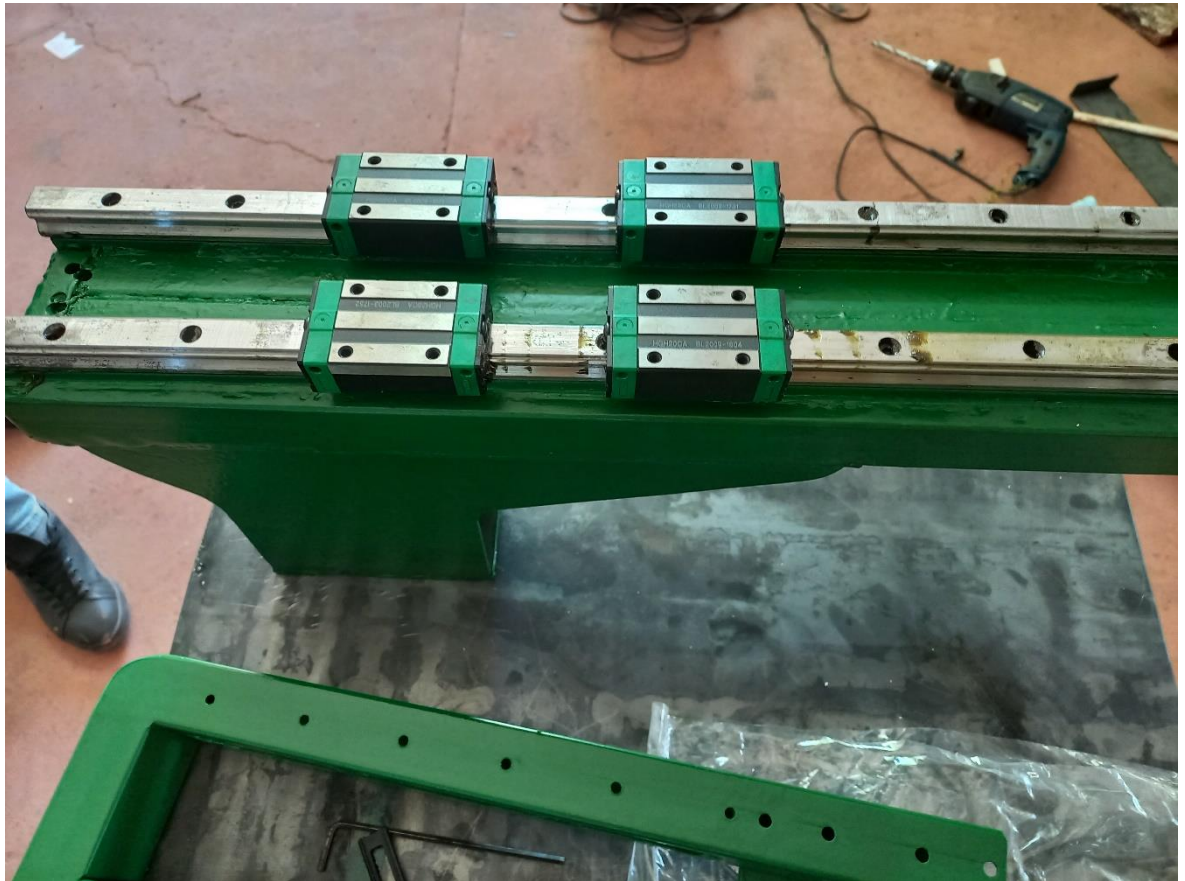


Figure V- 4 : Assemblage axe X

V.2.2. La réalisation de l'assemblage de l'axe Y :

- Phase de la réalisation de la forme U pour l'axe Y par soudage, figure V-5.



Figure V- 5 : Élément U de l'axe Y.

- Phase de fixation des rails et roulements linéaires sur le tube en U par boulonnage, figure V-6.



Figure V- 6 : Montage des rails et roulements.

V.2.3. La réalisation de l'assemblage de l'axe Z :

- Réalisation du support de l'axe Z :

Le support est compatible avec les solutions technologiques des deux axes Y et Z, la forme du support est obtenus par soudage et perçage, figure V-7.



Figure V- 7: Support de l'axe Z.

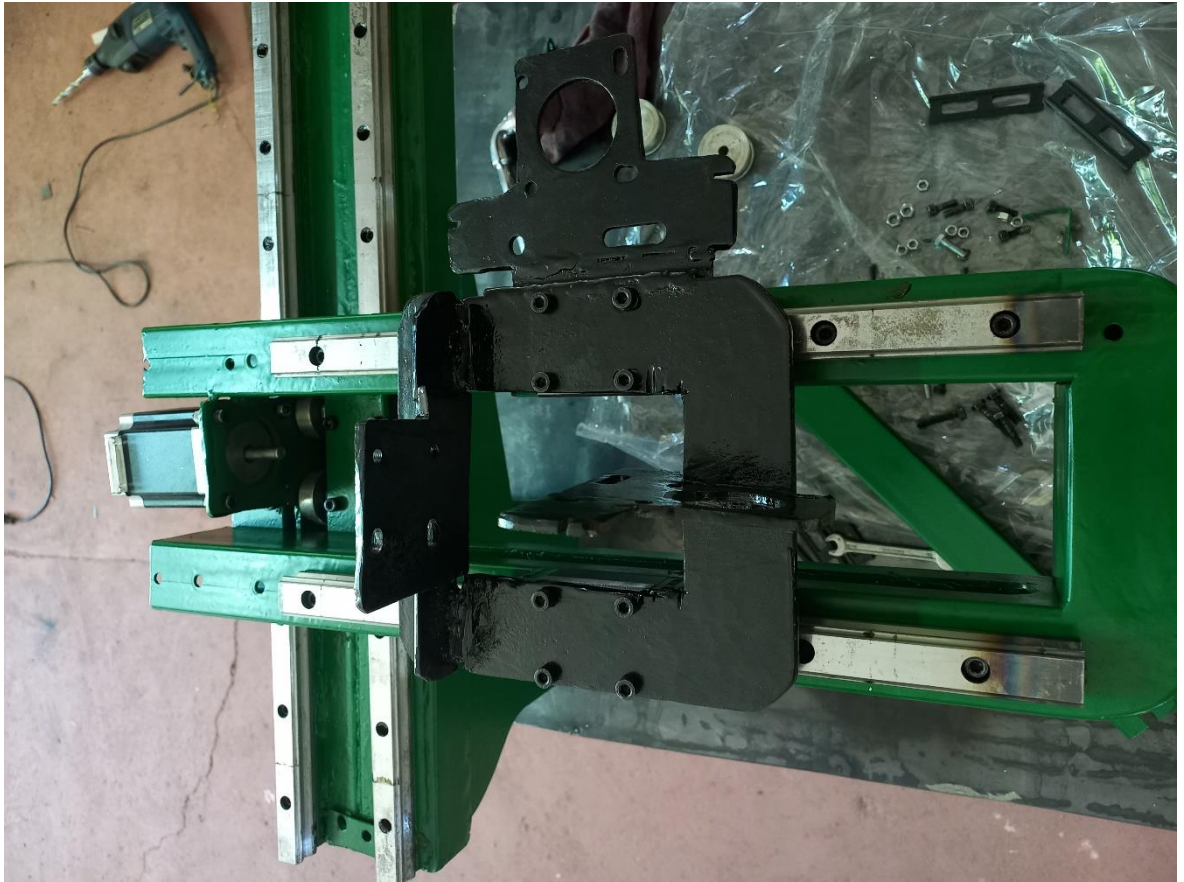
- Réalisation du télescope :



Figure V- 8 : Télescope.

La figure précédente représente le télescope de l'axe Z, il est fabriquer par un tube en acier est assembler par boulonnage avec une rail de guidage.

- Montage de support sur l'axe Y :



- Phase de peinture :

Les pièces assemblés précédemment sont peinturer à l'aide d'un pistolet de peinture, voir figure V-9.

- **Assemblage finale du robot :**

Le système est composé de trois axes (X, Y et Z) et un préhenseur.

Le montage du l'axe Y sur L'axe X est réalisé par l'assemblage boulonnier des roulements linéaires sur le support soudé avec l'axe Y.

Le préhenseur est assemblé avec une vis à l'extrémité de télescope.

Donc l'assemblage du système est donné par la figure V-10 :



(a) Elément U



(b) Support de l'axe Z



(c) Télescope



(d) L'assemblage de l'axe X

Figure V- 9: les pièces peinturées

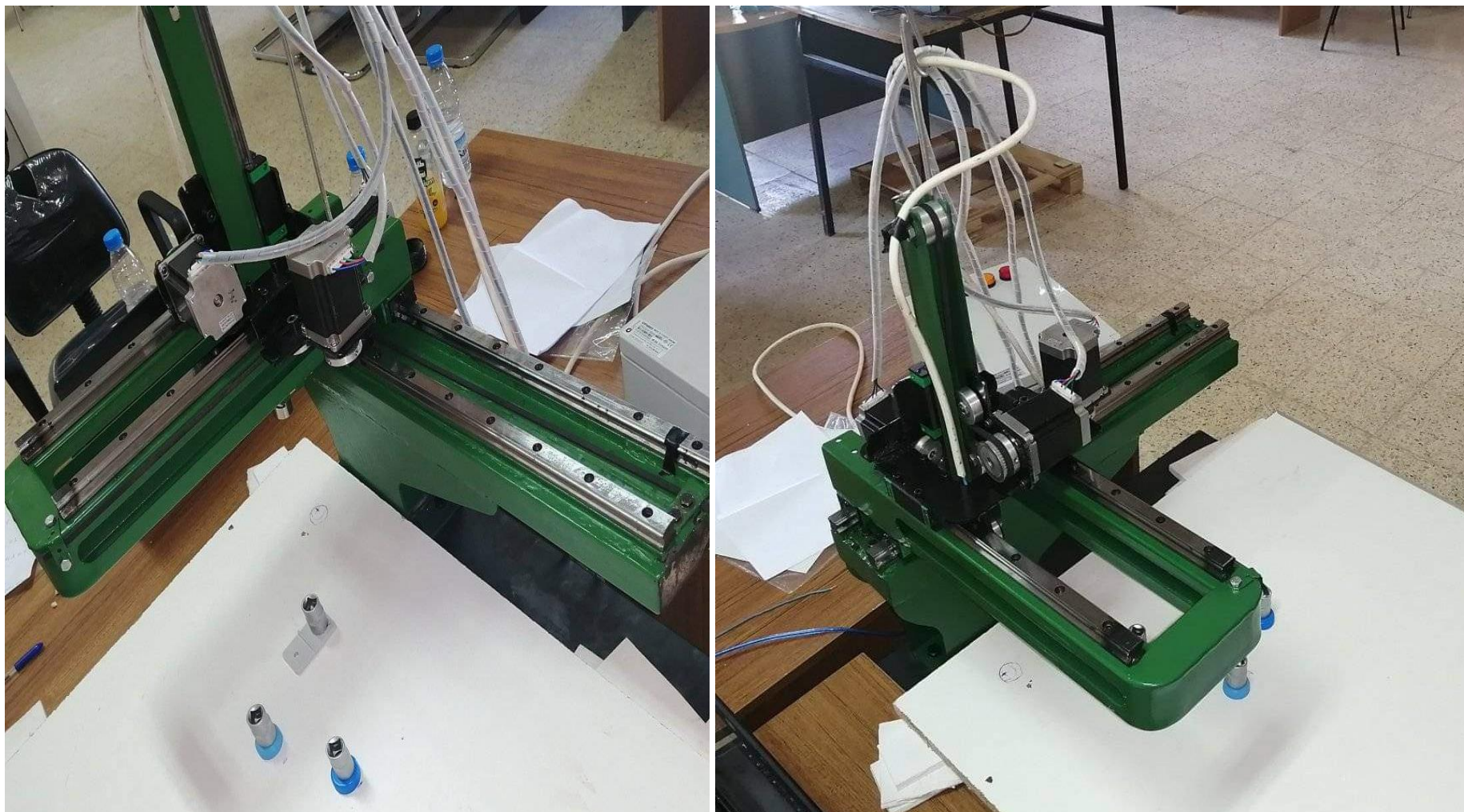


Figure V- 10 : Montage finale du robot

V.2.4. Commande :**V.2.4.1 Motorisation :**

Les moteurs pas à pas fonctionnent avec un signal de direction 0-5V et un autre signal en onde carrée pulsé à une certaine fréquence. Le signal de direction directe le sens de rotation et le signal pulsé détermine les déplacements du rotor et la vitesse selon la fréquence. Chaque pulse correspond au déplacement du rotor d'un pas. La Majorité des moteurs pas à pas ont une résolution de 200 pas par tour (pas complet 'Full Stepping'). Les variateurs permettent d'obtenir une résolution plus élevée que 200 pas par tour (exemple : 400 pas/tour [1/2 pas 'Half-stepping'], plus de 400 pas/tour [micro pas 'Microstepping']) et donc un positionnement plus fin. Les moteurs pas à pas développent leur couple maximal à basse vitesse [2].

Le moteur choisi de type Nema 23 avec un couple de 1.9 Nm. (voir figure V-10).

Les caractéristiques du moteur pas à pas :

- Modèle : 57HD6013-03
- Longueur du moteur : 76mm
- Diamètre de l'arbre : 8mm
- Phase : 2
- Pas : 1.8°
- Tension nominale : 2,7 V DC
- Courant nominale : 3.0A
- Moment d'inertie : 480 g.cm²
- Poids net : 1050 g
- Fil conducteur : 4 conducteurs

V.2.4.1. Carte d'interface Arduino DUE :

La composante principale de la partie commande est la carte électronique programmable appelée 'Arduino'. Il existe plusieurs types, nous présentons dans ce qui suit celle qu'on a utilisée.

L'Arduino Due (figure V-11) est une carte microcontrôleur basée sur le processeur Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3. Il s'agit de la première carte Arduino basée sur un

microcontrôleur ARM 32 bits. Il dispose de 54 broches d'entrée/sortie numériques (dont 12 peuvent être utilisées comme sorties PWM), 12 entrées analogiques, 4 UART (ports série matériels), une horloge de 84 MHz, une connexion compatible USB OTG, 2 DAC (numérique à analogique), 2 TWI, une prise d'alimentation, un en-tête SPI, un en-tête JTAG, un bouton de réinitialisation et un bouton d'effacement [10].

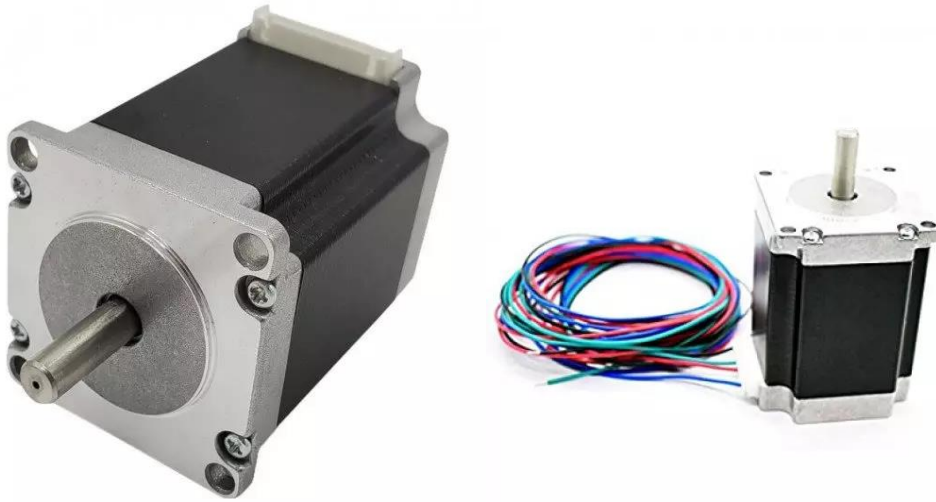


Figure V- 11: Moteur pas à pas Nema 23 [11].

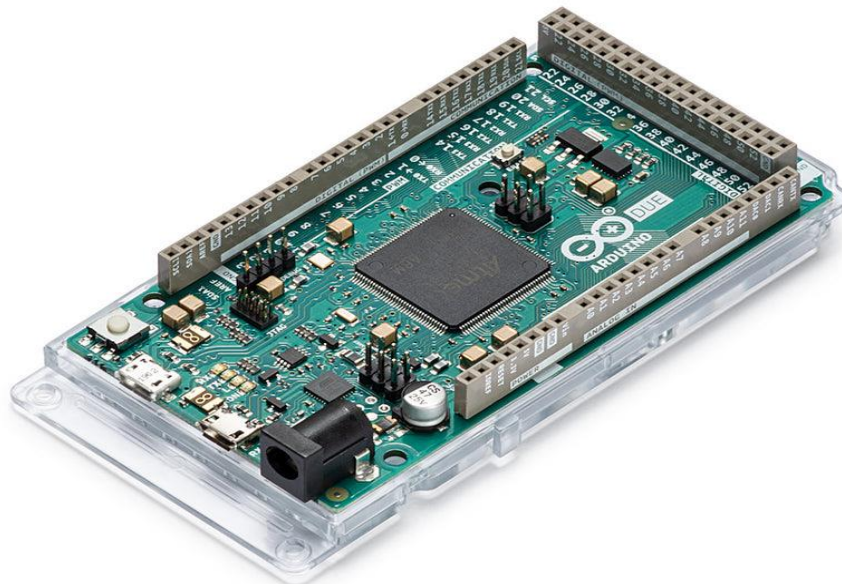


Figure V- 12 : Arduino DUE [10]

V.2.4.2. Driver moteur pas à pas

Trois drivers de type Tb6600 sont utilisées pour manipuler librement les moteurs. La Tension de fonctionnement est entre 9V et 42 V et un ampérage de 5A [11], figure V-12.



Figure V- 13: Driver Tb6600 [11].

V.2.4.3. Préhenseur :

On peut adapter à notre système plusieurs types de préhenseur : préhenseur pneumatique, préhenseur électrique parallèle, préhenseur électrique magnétiques, préhenseur hydraulique.

Le préhenseur sélectionné pour notre système est un préhenseur électromagnétique (figureV-13) alimenté par une tension de 12V, leur capacité de levage peut aller jusqu'à 500g [2].



Figure V- 14: Electro-aimant [2].

V.2.4.4. Circuit de commande :

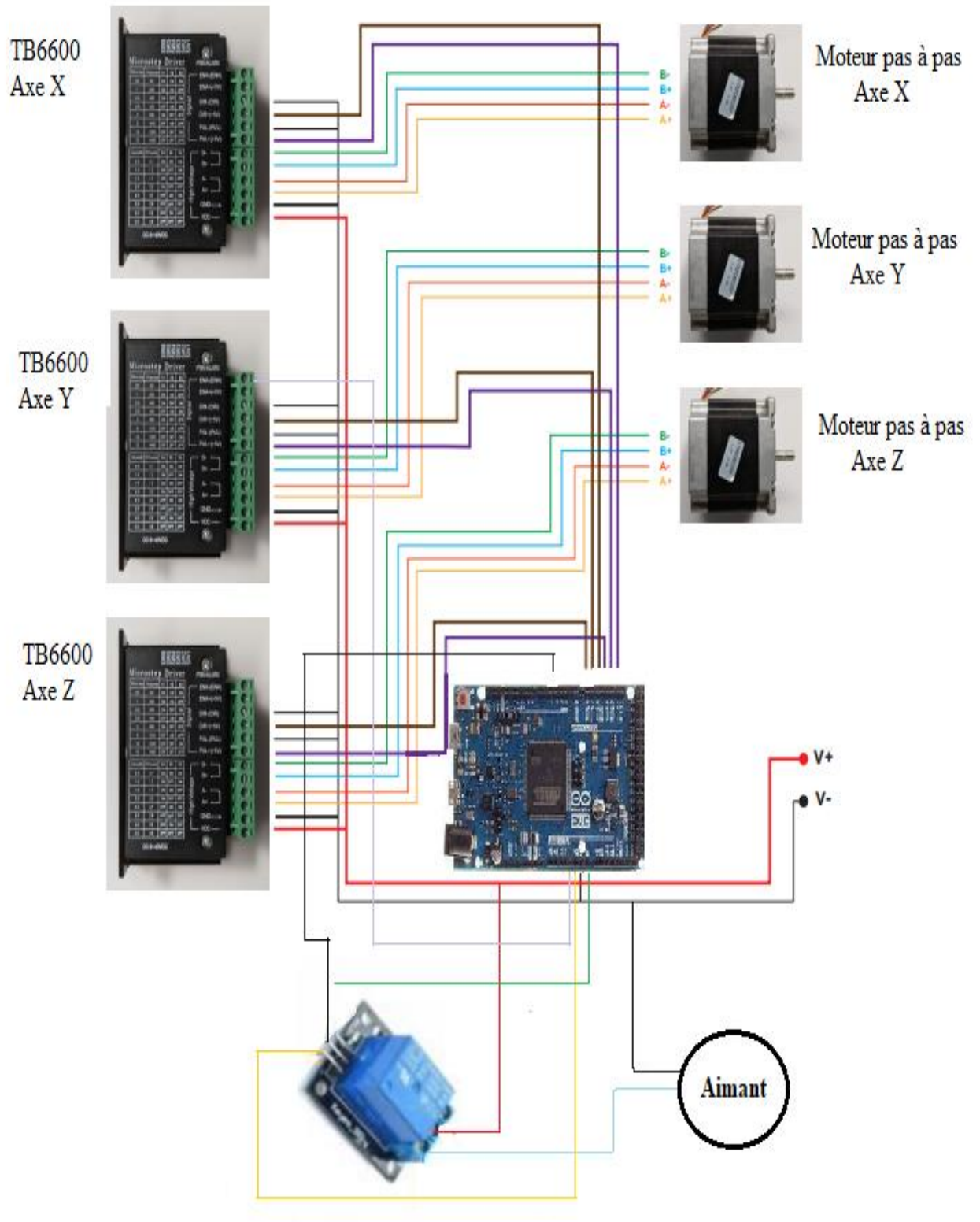


Figure V- 15: Schéma de surcuit de commande.

V.2.4.4. Boite de commande :

La figure V-15 représente le regroupement des composantes (Alimentation, Arduino, drivers, électro-aimant) qui assurent le contrôle de fonctionnement du robot.

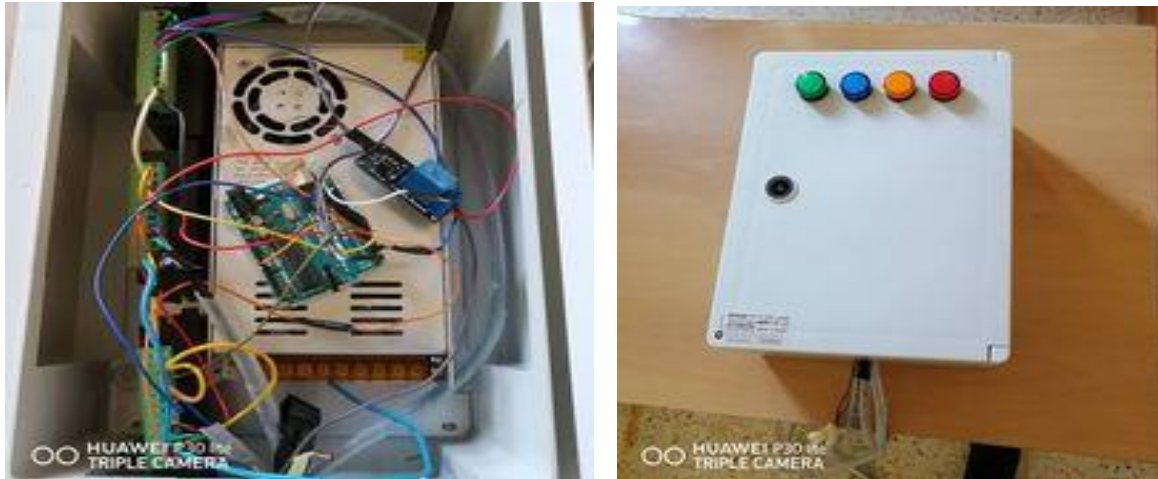


Figure V- 16: La boîte de commande.

V.3. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons détaillé les phases de la réalisation de notre prototype ainsi que la description de différentes composantes sélectionnées pour le contrôle du système.

Conclusion

Conclusion

Conclusion

Conclusion générale :

La robotique est une science pluridisciplinaire qui comprend la mécanique, l'automatique l'électrotechnique, le traitement de signal, l'informatique, communication....

L'élaboration de ce travail dans le cadre du projet de fin d'étude, nous a permis avec l'aide d'enseignants d'améliorer et d'approfondir nos connaissances dans le domaine de l'électronique, programmation, conception, fabrication et nous a donné une expérience exceptionnelle dans le travail de l'ingénieur.

Dans le présent travail on a commencé par une recherche approfondie sur l'aspect théorique des robots dont on a présenté le fonctionnement global du robot, les différents types et les éléments essentiels constitutifs du robot ensuite on a entamé une étude de marché qui nous a permis de bien définir un cahier de charge fonctionnel.

L'étape précédente permet l'enfoncement dans la conception 3D du robot, cette conception a donné une vision avancée du projet à l'aide de logiciel Solid Works qui a facilité cette tâche. Il a permis une visualisation tridimensionnelle de différentes pièces constitutives. Il a facilité l'assemblage et la mise en plan bidimensionnelle des pièces. La concrétisation de la modélisation géométrique a été une tâche ardue mais aussi constructive.

Finalement, notre travail nous a permis la réalisation pratique et le test des différents composants du système.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

- [1] W.Khalil, (2004), Modeling Identification and Control of Robots, Betterworth-Heinermann
- [2] Barka.Y, Bentrar.H, (2017/2018), Etude et réalisation d'un robot cartésien 3 axes, Mémoire de master, Université Aboubekr Belkaid –Tlencen.
- [3] <https://www.howtorobot.com/expert-insight/pick-and-place-robots> consulté le 08/04/2022 à 01 :17
- [4] <https://www.google.com/search?q=robots+pick+and+place> consulté le 22/01/2022 à 23 :48
- [5] P. SEVERIN, (2009), L'analyse fonctionnelle de la méthode aux outils, Lycée des métiers de l'hôtellerie et du tourisme de Toulouse.
- [6] F. Audry, P.Taillard, (2010), La démarche d'Analyse Fonctionnelle, Versailles- France.
- [7] H. Chen, (May 2012), Design of a controlled environment agricultural plant inspection robot, Mémoire de master, Université de Iowa.
- [8] Perrat.A, Bazin.D, (2013), Guide motion control : intelligence et performance au cœur des machines, GIMELEC. [Guide Motion Control - intelligence et performance au coeur des machi... \(slideshare.net\)](#) consulté le 25/05/2022 à 22 :40
- [9] Binet. F, (2007), Le dimensionnement d'une motorisation d'axe, Revue de Technologie, 151 et 152.
- [10] : <https://www.gotronic.fr/art-carte-arduino-due-18742.htm> consulté le 09/06/2022 à 10 :50.
- [11] : [https://french.alibaba.com/p-detail/Stepper 60445778891. html? spm=a2 700.details .0.0 .2a e 37 a 56cpQxrX](https://french.alibaba.com/p-detail/Stepper-60445778891.html?spm=a2700.details.0.0.2a e 37 a 56cpQxrX) consulté le 09/06/2022 à 11 :00.
- [12] : keyshot est un logiciel autonome de rendu et d'animation 3D en temps réel qui utilise le lancer de rayons et le mappage de photos pour créer des images photoréalistes de données CAO.

Annexe

Annexe

Annexe-A- : Rail de guidage :

1. Description :

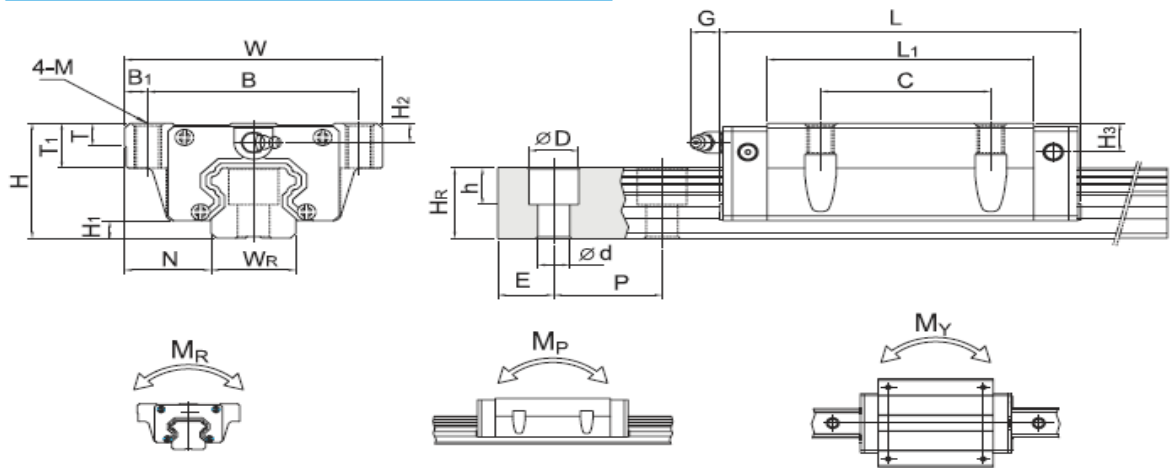
Les guidages linéaires de la série FBT BLH sont conçus avec une capacité de charge et une rigidité supérieures à celles d'autres produits similaires avec rainure à arc circulaire et optimisation de la structure.

Il présente des capacités de charge égales dans les directions radiale, radiale et latérale inversée, ainsi que l'auto-alignement pour absorber les erreurs d'installation.

Ainsi, les guidages linéaires de la série BLH peuvent atteindre une longue durée de vie avec une vitesse élevée, une grande précision et un mouvement linéaire régulier [10].

- Prix : 37500.00 da

BLH-F/FL Flange Linear Guide



Unit:mm

Model	Assemble Size				Carriage Size(mm)										
	H	H1	N	W	B	B1	C	L1	L	G	M	T	T1	H2	H3
BLH15F	24	4.3	16	47	38	4.5	30	39.4	61.4	5.3	M5	6	8.9	3.95	5.5
BLH20F	30	4.6	21.5	63	53	5	40	50.5	77.5	12	M6	8	10	6	7
BLH20FL								65.2	92.2						
BLH25F	36	5.5	23.5	70	57	6.5	45	58	84	12	M8	8	14	6	9
BLH25FL								78.6	104.6						
BLH30F	42	6	31	90	72	9	52	70	97.4	12	M10	8.5	16	6.5	10.8
BLH30FL								93	120.4						
BLH35F	48	7.5	33	100	82	9	62	80	112.4	12	M10	10.2	18	9	12.6
BLH35FL								105.8	138.2						
BLH45F	60	9.5	37.5	120	100	10	80	97	139.4	12.9	M12	16	22	8.5	20.5
BLH45FL								128.8	171.2						

Model	Rail Size(mm)							Mounting Bolt for Rail (mm)	Rated Load		Static Rated Moment		
	Wr	Hr	D	h	d	P	E		C(kN)	C0(kN)	Mr	Mp	My
BLH15F	15	15	7.5	5.3	4.5	60	20	M4x16	11.38	16.97	0.15	0.15	0.16
BLH20F	20	17.5	9.5	8.5	6	60	20	M5x16	17.75	22.76	0.38	0.27	0.27
BLH20FL									21.18	35.9	0.48	0.47	0.47
BLH25F	23	22	11	9	7	60	20	M6x20	26.48	36.49	0.64	0.51	0.51
BLH25FL									32.75	49.44	0.87	0.88	0.88
BLH30F	28	26	14	12	9	80	20	M8x25	38.74	52.19	1.06	0.85	0.85
BLH30FL									47.27	69.16	1.4	1.47	1.47
BLH35F	34	29	14	12	9	80	20	M8x25	49.52	69.16	1.73	1.2	1.2
BLH35FL									60.21	91.63	2.29	2.08	2.08
BLH45F	45	38	20	17	14	105	22.5	M12x35	77.57	155.9	3.01	2.35	2.35
BLH45FL									94.54	207.1	4	4.07	4.07

Figure Annexe –A- 1 : Rail de guidage [10].

Annexe

Annexe –B- : Alimentation électrique 12V 30A 250W

1. Description :

L'alimentation électrique est un élément clé de la construction d'une imprimante, et il n'y a plus de problème. C'est pourquoi nous sommes allés avec ces unités de haute qualité [2].



Figure Annexe –B-2 : Alimentation électrique 12V 30A 250W [2].

2. Caractéristiques :

- Tension d'entrée : 85-265VAC
- Fréquence de ligne d'entrée : 50/60 Hz
- Tension de sortie : 12V DC (réglable à +/- 10%)
- Courant de sortie maxi : 20A
- Puissance de sortie maximale : 250W
- Refroidissement : ventilateur à température contrôlée de 60 mm
- Dimensions : 200 x 110 x 50 mm
- Poids : 730g
- Le prix : 5 500,00 DA

Annexe

Annexe-C- : G-code :

Tableau Annexe-C-1 : G code [2].

G00	Déplacement rapide
G01	Interpolation linéaire
G02	Interpolation circulaire (sens horaire, anti-trigo)
G03	Interpolation circulaire (sens anti-horaire, trigo)
G04	Arrêt programme et ouverture carter (pour nettoyer) (temporisation - suivi de l'argument F ou X en secondes)
G10/G11	Écriture de données / Effacement de données (suivi de l'argument L suivant le type de données à écrire)
G17	Sélection du plan X-Y
G18	Sélection du plan X-Z
G19	Sélection du plan Y-Z
G20	Programmation en pouces
G21	Programmation en mm
G26	Retour à la position d'origine
G31	Saute la fonction (mode <i>Interrupt</i> utilisé pour les capteurs et les mesures pièces et de longueur d'outil)
G33	Filetage à pas constant
G34	Filetage à pas variable
G40	Pas de compensation de rayon d'outil
G41	Compensation de rayon d'outil à gauche
G42	Compensation de rayon d'outil à droite
G54 à G59	Activation du décalage d'origine pièce (<i>Offset</i>)
G68 / G68.1	Activation du mode "Plan incliné" (<i>Tilted plane working</i>) pour les centres d'usinage 5 axes
G71 / G71.7	Cycle d'ébauche suivant l'axe Z (appel de profil balisé entre les arguments P et Q)
G76 / G76.7	Cycle de filetage
G69	Annulation du mode <i>Tilted plane working</i> (Plan incliné)
G84	Cycle de taraudage rigide
G90	Déplacements en coordonnées absolues
G91	Déplacements en coordonnées relatives
G94/G95	Déplacement en pouces par minute/pouce par tour
G96 ; G97	Vitesse de coupe constante (vitesse de surface constante) ; Vitesse de rotation constante ou annulation de G96