REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Electromécanique
Spécialité : Mécatronique

Etude, Conception et réalisation d'un robot mobile à six roues utilisé en agriculture dans des terrains accidentées

Présentés par

HADJAMEUR Abdessalem

BENYAHIA Youcef Farid

Dirigé par
Dr. BENTCHIKOU Mohamed
Dr. BOUHADA Mounir

Promotion juin 2020

بسم الله الرحمن الرحيم

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre Encadreur Dr : **Mohamed BENTCHIKOU** de ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail et le Co-promoteur Mr Mounir BOUHADA.

Nos vifs remerciements vont également aux membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en Acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, nous tenons également à remercier MOHRI.Ab, TASSIST.Med, BENMOULOUD Ab, TAKDENTI, Ib et les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail

الملخص

يتضمن هذا المشروع دراسة وتصميم روبوت في المجال الزراعي

حيث يسهل على المزارع الوصول الى الاراضي الوعرة والمائلة على خلاف الآلات الثقيلة

من خلال الجمع بين التقنيات في مجال الميكانيك و الإلكترونيك، حيث يمكن انشاء روبوت والتحكم فيه باستخدام شريحتي أرد وينو و STM32ودمج بعض انواع المستشعرات والمحركات.

قمنا بتصميم برنامج قادر على قيادة الروبوت باستعمال أداة تحكم عن بعد بتردد الراديو القادرة على ارسال الاوامر واستقبال المعلومات من الروبوت وعرضها على شاشة صغيرة.

الكلمات المفتاحية: روبوت متحرك بست عجلات، الزراعة، STM 32، NRF24L01 تحكم عن بعد، محاكات.

Résume

Le projet consiste à faire une étude et une conception d'un robot qui pourra être exploité dans le domaine agricole et opérer sur des terrains accidentés et en pente où la machinerie lourde ne peut être efficace. Il est question de doter la structure mécanique du robot des outils de commandes nécessaires à l'accomplissement des tâches qui lui sont dévolues.

Dans ce système, une carte Arduino et une autre STM32 avec certains types de capteurs et moteurs, sont les composants principaux de la réalisation.

La conception a nécessité la création d'un programme capable de commander le robot à partir d'une manette à radio fréquence qui transmet les ordres et reçoit les informations pour enfin les afficher sur un écran.

Mots clés : Robot mobile a six roues, Agriculture, STM 32, NRF 24L01+, commande sans fil, simulation.

Abstract

This project include study, and concept design and the realization of a robot in agricultural field.
Where it is easy for farmers to access difficult terrain, unlike heavy machines.

By the combination between technologies in the mechanical and electronic fields we had the ability to create a robot and control it using an Arduino and STM32 chips, and some types of sensors and motors.

We have implemented a program that able to control the robot via radio frequency remote capable to send orders and receive information form the robot and display it on an OLED screen

Key words: Six wheel mobile Robot, agriculture, STM32, NRF24L01+, wireless command, simulation.

Liste des tableaux

Tableau 2-1:tableau de discription des fonctions de diagramme pieuvre 32
Tableau 3-1: caractéristiques de Arduino Nano 51
Tableau 3-2: Données de références 52
Tableau 3-3:caractéristiques de pilot du moteur cc 59
Tableau 3-4: caractéristique servomoteur 60
Tableau 3-5:spécifications de Module NEO-6M GPS 61
Tableau 3-6:spécifications de capteur ultrason HC-SR04 62
Tableau 3-7: spécifications de cateur de gaz MQ2 63

Liste des figures

Figure 1-1: évolution du robot bipède selon Sony....18
Figure 1-2:le robot chien de Boston Dynamics....18
Figure 1-3:robot mobile hexapode....18
Figure 1-4:un mini robot mille pattes....18
Figure 1-5:robot mobile à chenille....19
Figure 1-6:Robots volants (drones)....19
Figure 1-7: Robots navigants AUV....19
Figure 1-8: robot auto-balance unicycle....20
Figure 1-9:robot tricycle....20
Figure 1-10: robot mobile omnidirectionnel....21
Figure 1-11:robot mobile de type voiture....21
Figure 1-12:structure fonctionnelle d'un robot....23
Figure 1-13 : Braquage différentiel....26
Figure 1-14 : cinématique chassie articule....26
Figure 1-15 : Cinématique à quatre roues indépendantes....27
Figure 1-16 : cinématique roues non directionnelles....27
Figure 1-17:Tracteurs en agriculture....28
Figure 1-18: les drones en agriculture....28
Figure 1-19: La technologie d'agriculture en intérieur....29
Figure 1-20:Le robot autonome AgBot II....29
Figure 2-1 : Diagramme Bête à Corne exprimant le besoin du Robot agriculteur....31
Figure 2-2: Diagramme Pieuvre reliant le robot avec son environnement extérieur....32
Figure 2-3:Diagramme FAST du Robot agriculteur....33
Figure 2-4:système de suspension du bogie basculant....34
Figure 2-5:L'esquisse de système du bogie....35
Figure 2-6: Système à roues directionnelles....35
Figure 2-7: schéma cinématique de robot....35
Figure 2-8: le comportement de la suspension en traversant un obstacle....36
Figure 2-9: modèle planaire de robot....36
Figure 2-10: affectation du chassi....37
Figure 2-11: cinématique de la direction....38
Figure 2-12: Diagramme des forces statiques....41
Figure 2-13:La zone de stabilité....42
Figure 2-14:l'angle max de Pente de descente....42
Figure 2-15: Stabilité latérale....43
Figure 2-16:représentation des forces tangentielles et normales des points de contacte....43
Figure 2-17:les différentes postures de la suspension....44
Figure 2-18: la hauteur maximale de la marche....44
Figure 2-19: simulation de la flexion de l'axe de rotation de rover....45
Figure 2-20:déplacement de centre de gravité par rapport à une roue et une articulation....46
Figure 2-21 : Variation de la vitesse angulaire de centre de masse sur l'axe X....47
Figure 2-22:la variation de la vitesse linéaire dans un terrain accidenté sur l'axe Y....47

Figure 3-1: Schéma technologique de la chaine d'acquisition 48
Figure 3-2:schéma de la chaine d'information 49
Figure 3-3:la manette de commande par RF 50
Figure 3-4: la carte de développement Arduino nano 50
Figure 3-5:module NRF24 de transmission 52
Figure 3-6:organigramme du mode récepteur 53
Figure 3-7: organigramme du mode transmision 54
Figure 3-8 : afficheur graphique OLED 55
Figure 3-9: batterie de 9V 55
Figure 3-10: carte de développement STM32F103C8T6 56
Figure 3-11:moteur à cc avec reducteur a vis sans fin 58
Figure 3-12: schéma électrique de pont H 58
Figure 3-13: schéma électrique de fonctionnement de pont H 59
Figure 3-14: Les constituants d'un servomoteur 60
Figure 3-15: module de capteur NEO-6M GPS 61
Figure 3-16:module de capteur ultrason HC-SR04 62
Figure 3-17:module de capteur de gaz MQ2 63
Figure 3-18: batterie 12V lithium rechargeable 64
Figure 3-19: l'interface d'Arduino IDE 64
Figure 3-20 la barre d'outils de l'IDE 65
Figure 3-21: Organigramme de fonctionnement de la manette 66
Figure 3-22: Organigramme de la commande de robot 69
Figure 3-23: la commande en vitesse par la technique PWM 70
Figure 3-24: commande de position par système bouclé de servomoteur 71
Figure 3-25:mesure de distance et affichage dans le moniteur série 71
Figure 3-26: mesure de la concentration de gaz avec MQ2 72
Figure 3-27: expérience de mesure de position par le capteur NEO-6M 72
Figure 3-28: expérience de l'affichage des informations dans la manette 73
Figure 3-29: experience de commande des moteurs avce la manette 73
Figure 3-30: l'affichage de la commande numérique des moteurs dans le moniteur serie 74
Figure A-1: modèle assemblé de robot 78
Figure A-2: calcul RDM de guide d'équilibre 78
Figure A-3: calcul RDM de l'articulation de rover 79
Figure A-4: calcul RDM de l'arbre d'équilibre 79
Figure A-5: calcul RDM de l'arbre de moteur 79
Figure B-6: schéma electrique de module de pont H 79
Figure B-7: le schéma électrique de la manette 79
Figure B-8: Schéma électrique globale de robot 79

Nomenclature

V : la vitesse linéaire [m /s].

r : le rayon de la roue [m].

Ωi : la vitesse angulaire de la roue [rad/s].

θ : L'angle de rotation globale de robot [deg] [rad].

ρ : L'angle de rotation de rover (partie supérieure de la suspension) [deg] [rad].

β : L'angle de rotation de bogie (partie inférieure de la suspension) [deg] [rad].

α : L'angle de la pente [deg] [rad].

δ : L'angle de rotation des roues [deg] [rad].

φ : L'angle de braquage [deg] [rad].

ω : La vitesse angulaire globale de robot [rad/s].

P : la matrice des vitesses.

P^+ : la matrice pseudo inverse [inverse à gauche]

K : constante [m^2].

$\dot{q}$: La matrice des vitesses de robot.

F : la force [N].

M : le moment [Nm].

IDE: integrated development environment.

NRF: Nordic radio frequency

USB: universal serial bus.

PWM: pulse width modulation.

SPI: Serial peripheral interface.

I2C: Inter integrated circuit.

MCU: Microcontroller unit.

RX: receiver.

TX: transmitter.

CRC: cyclic redundancy check.

OLED: organic light emitting diode.

SRAM: static RAM.

DMIPS: Dhrystone million instruction per second.

PLL: phase lock loop.

POR: power on reset.

PDR: power down reset.

ADC: analog to digital converter.

USART: universal synchronous and asynchronous receiver and transmitter.

SWD: serial wire debug.

JTAG: joint test action group.

CAN: controller area network interface bus.

Table des matières

Remerciement ii
Résume iii
Liste des tableaux iv
Liste des figures v
Nomenclature vii
Introduction générale 14
1 Chapitre 1 : Généralités sur les robots et leur utilisation dans le domaine agricole 16
1.1 Introduction 16
1.2 Définitions 16
1.3 Historique 16
1.4 Types de robots mobiles 17
1.4.1 Les robots à pattes 17
1.4.1.1 A une patte 17
1.4.1.2 A deux pattes 18
1.4.1.3 À quatre pattes 18
1.4.1.4 Les robots à six ou huit pattes 18
1.4.1.5 Les robots « mille-pattes » 18
1.4.2 Robots mobiles à chenille 19
1.4.3 Robots volants (drones) 19
1.4.4 Robots navigants 19
1.4.5 Robots mobiles à roues 20
1.4.5.1 Robot mobile uni cycle 20
1.4.5.2 Robot tricycle 20
1.4.5.3 Robot omnidirectionnel 20
1.4.5.4 Robot voiture 21
1.5 Domaines d'utilisations 21
1.5.1 L'industrie 21
1.5.2 Le domaine militaire 21
1.5.3 La santé 22
1.5.4 Utilisation civile et domestique 22
1.5.5 Utilisation agricole 22
1.6 Constituants mécaniques des robots 22

1.6.1 Organe terminal 22
1.6.2 Structure mécanique articulée 22
1.6.3 Articulations 22
1.7 Les éléments constitutifs d'un robot 22
1.7.1 Unité informationnelle 23
1.7.2 Unité opérationnelle 23
1.8 Historique d'intégration des machines dans le domaine agricole 23
1.9 Les robots dans l'agriculture 24
1.10 Configuration des terrains 24
1.11 Difficulté d'exploitation des terrains 25
1.11.1 La mobilité 25
1.11.2 L'environnement 25
1.11.3 Traction et glissement 25
1.11.4 Systèmes de direction 25
1.11.4.1 Braquage différentiel (dit d'Ackerman) 25
1.11.4.2 Châssis articule 26
1.11.4.3 Roues directionnelles indépendantes 26
1.11.4.4 Roues non directionnelles 27
1.12 La solution apportée 27
1.12.1 Tracteurs 27
1.12.2 Les Drones 28
1.12.3 Agriculture en intérieur 28
1.12.4 Les robots autonomes 29
1.13 Conclusion 30
2 Chapitre 2 : Etude, conception mécanique et simulation du robot 31
2.1 Introduction 31
2.2 Analyse fonctionnelle du projet 31
2.2.1 La bête à cornes 31
2.2.2 Diagramme Pieuvre 32
2.2.3 Digramme FAST du robot agriculteur 32
2.3 Conception 34
2.3.1 Esquisse 34
2.3.2 Choix de Systèmes de direction 35

2.3.3 Schéma cinématique 35
2.3.4 Description des positions et vitesses de la suspension 36
2.3.5 Les équations cinématiques de direction 38
2.4 Chargement et efforts 41
2.4.1 Analyse statique 41
2.4.2 Pente de descente 42
2.4.3 pente laterale 42
2.4.4 Représentation des forces dynamique 43
2.5 Dimensionnement de robot (voir annexe A) 45
2.6 Simulation RDM 45
2.7 Choix des matériaux 46
2.8 Couple de rotation 46
2.9 Résultat de simulation SolidWorks 46
2.10 Conclusion 47
3 Chapitre 3 : Etude, conception électronique et étude expérimentale 48
3.1 Introduction 48
3.2 Description de la partie électrique et électronique 48
3.3 Chaine d'acquisition 48
3.4 Chaine d'information 49
3.5 Conception des circuits électriques 49
3.5.1 Conception de la manette 49
3.5.2 Carte Arduino 50
3.5.3 Le module de Communication NRF24L01+ 51
3.5.4 Afficheur graphique OLED 54
3.5.5 Alimentation 55
3.5.6 Le schéma global de la manette 55
3.6 Conception électronique de robot 55
3.6.1 STM32 55
3.6.1.1 Caractéristiques principales 56
3.6.1.2 Mémoire 56
3.6.1.3 Horloge, réinitialisation et gestion d'alimentation 56
3.6.1.4 Horloge, réinitialisation et gestion des approvisionnements 57
3.6.1.5 Faible puissance 57

3.6.1.6 2 convertisseurs A / N 12 bits, 1 µs (16 canaux) 57
3.6.1.7 DMA (direct memory Access) 57
3.6.1.8 Mode débogage 57
3.6.1.9 Jusqu'à 80 ports d'E/S rapides 57
3.6.1.10 Jusqu'à 9 interfaces de communication 57
3.7 Actionneur 58
3.7.1 Moteur DC 58
3.7.2 Pont H 58
3.7.2.1 le principe de fonctionnement d'un pont H 58
3.7.2.2 Brochage du moteur cc avec le module de pont H 59
3.7.3 Servomoteur 59
3.8 Capteurs et détecteurs 60
3.8.1 NEO-6M GPS Module 60
3.8.2 Capteur à ultrasons HC-SR04 62
3.8.3 Capteur de gaz / fumée MQ2 63
3.8.4 Alimentation 63
3.8.5 Brochage de module NRF24, servomoteurs, le pont H et les capteurs avec le microcontrôleur 64
3.9 Command : 64
3.9.1 Plateforme de programmation 64
3.9.2 Programmation de la manette 66
3.9.2.1 Configuration de la connexion NRF24LO1+ 66
3.9.2.2 Le protocole de communication de NRF ShockBurst amélioré 67
3.9.2.3 Choix de mode de commande 67
3.9.2.4 Lecture des données 67
3.9.2.5 Transmission des données 68
3.9.2.6 La réception et l'affichage des données 68
3.9.3 Programmation de robot 68
3.9.3.1 Configuration de la connexion NRF24LO1+ 68
3.9.3.2 La première partie (mode manuelle) 69
3.9.3.3 La deuxième partie (mode automatique) 69
3.9.3.4 Commande en Vitesse 70
3.9.3.5 Direction Command en position 70
3.10 Etude expérimental 71

3.9.4 Expérience de mesure de la distance avec le capteur HC-SR04 71
3.9.5 Expérience de mesure de la concentration de gaz avec le capteur MQ2 72
3.9.6 Expérience de mesure de position par le module de NEO-6M GPS 72
3.9.7 Expérience de l'affichage des données avec l'afficheur OLED 73
3.9.7.1 experience de mise en marche des moteurs avec la manette 73
3.11 Conclusion et perspective 74
Conclusion générale et recommandation 75
Bibliographie.....76
Annexe 78

Introduction générale :

Depuis toujours l'homme a voulu faciliter les tâches qu'il effectue, en utilisant différentes méthodes et outils, les animaux parmi eux, par utilisation de la charrue tirée par les bœufs, ou l'extraction de l'eau des puits pour l'irrigation, jusqu'aux moissonneuse de nos jours.

Pour augmenter de la productivité des champs de culture, l'homme a besoin de contrôler régulièrement la composition du sol en faisant des prélèvements pour des analyses à effectuer au laboratoire. La modernisation du secteur de l'agriculture fait que l'homme se fait diriger vers l'utilisation des robots pour ces taches fatigante et plus ou moins dangereuses, pour une exécution moins astreignante, moins de risques et plus rapides. Ces robots sont composés par une partie opérative, avec l'intégration des capteurs combinés à l'outil informatique et électronique.

Avec le développement technologique les chercheurs travaillent à reproduire les taches humaines, ce qui a conduit à l'intégration des capteurs et des détecteurs, afin de permettre aux robots de communiquer avec leur enivrement et acquérir les informations nécessaires pour accomplir ces taches dans toutes conditions possibles et imprévues

L'objectif principal de ce travail est de faire :

Une étude sur un robot mobile qui sera utilisé dans le domaine agricole, destiné principalement à la collecte d'informations (CO, fumé, humidité, température…) du sol, pour bien connaitre et gérer les besoins (en engrais), et en ressources hydriques. C'est pour établi le bilan de puissance, et avoir le choix des différents composants mécaniques, et électriques, telle que les actionneurs, les capteurs, mode de commande, le module de transmission et l'alimentation. Pour qu'il soit capable d'opérer dans différents terrains qu'ils soient accidentés et inclinées, ou uniformes, le châssis et les différents éléments qui constituent ce robot sont conçu pour d'adapter à ces conditions, avec aussi le circuit électronique, et la manette qui convient.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres :

Le premier chapitre présente une introduction générale à la robotique, les définitions, les types de robot, les éléments constituants et les domaines d'applications. On montre dans ce chapitre la liaison entre le développement des robots, et l'intégration de ces derniers dans l'agriculture, les exigences de travail des robots dans les terrains naturels, la difficulté d'exploitation des terrains, et les solutions proposées.

Le deuxième chapitre est consacré à l'analyse fonctionnelle du projet, la conception mécanique, et tous ce qui concerne les calculs des efforts, le dimensionnement des pièces, la simulation de la structure et le test par la simulation dans SolidWorks.

Le troisième chapitre est dédié aux systèmes embarqués utilisés, comme les actionneurs, les capteurs et détecteurs, la carte de développements, les outils de

communication, et à la fin une étude expérimentale est présentée pour intégrer et vérifier les résultats de l'étude mécanique, et aussi vérifier le programme de commande proposé.

1 Chapitre 1 : Généralités sur les robots et leur utilisation dans le domaine agricole :

1.1 Introduction :

La robotique est un ensemble des disciplines (mécanique, électronique, automatique, informatique), elle se subdivise en deux types : les robots industriels et les robots mobiles, avant d'entrer spécifiquement au travail que nous avons effectué dans la conception de notre système, nous ferons dans ce premier chapitre un tour d'horizon sur les robots en général et leur différent type, les domaines d'applications ainsi que la constitution des robots.

De plus, on va voir l'utilisation des robots dans l'agriculture, son historique et comment les utilisateurs les ont intégrés dans ce domaine. Aussi on va présenter les différentes configurations des terraines, les difficultés d'exploitation de ces terres et les solutions apportées.

1.2 Définitions :

La robotique peut être définie comme l'ensemble des techniques et études tendant à concevoir des systèmes mécaniques, informatiques ou mixtes, capable de se substituer à l'homme dans ses fonctions motrices, sensorielles et intellectuelles. Plusieurs antres définitions du mot robot sont récurrentes[1].

Selon «le Petit Larousse », un robot est défini comme étant un appareil automatique capable de manipuler des objets ou d'exécuter des opérations selon un programme fixe ou modifiable[1].

Selon « robot Institute of America » Un robot est un manipulateur reprogrammable à fonctions multiples. Il est conçu pour déplacer des matériaux, des pièces, des outils ou des instruments spécialisés suivant des trajectoires variables programmées, en vue d'accomplir des taches très diverses[1].

Selon « Association Japonaise de Robotique Industrielle », un robot est un mécanisme permettant d'effectuer, en tout ou en partie, une tache normalement réalisée par l'homme[1].

Selon « International Standard Organisation (ISO) », un robot est une machine formée par un mécanisme incluant plusieurs degrés de libertés, ayant souvent l'apparence d'un ou plusieurs bras se terminant par un poignet capable de tenir des outils, des pièces ou un dispositif d'inspection[1].

Un robot mobile est un système mécanique, électrique et informatique agissant physiquement sur son environnement en vue d'atteindre un objectif qui lui a été assigné[1].

1.3 Historique :

Il est vrai que le terme robot est emprunté de la science-fiction. Il trouve en effet son origine dans une pièce de l'auteur tchèque Capek, écrite en 1923, intitulée « Les robots universels de Rossum » . Le concept d'un robot industriel a été breveté en 1954 par G.C. Devol

. Le brevet décrit comment construire un bras mécanique commandé capable d'accomplir certaines tâches dans l'industrie. Quelques dates du développement des robots seront présentées selon les types :

Robotique industrielle

1961 : Premier robot industrielle mis en place dans une usine de General Motors[1].

1972 : Nissan ouvre la Premier chaine de production complètement robotisée[1].

1978 : PUMA (programmable Universel machine for Assembly) développé par General Motors [1].

Robots mobiles :

1960-1964 : ouverture des laboratoires d'intelligence artificielle au MIT StanfordResearch Institue(SRI)

fin des années 60 : Mise en place de « Shakey » premier robot mobile intégrant perception, planification et exécution[1].

1970 : StanfordCart[1].

1977 : premier robot mobile français HILARE au LAAS (CNRS Toulouse)[1].

1980-1990 : développement important de l'intelligence artificielle et de la robotique[1].

Essor de la robotique mobile

1992 : Mise en place de la compétition annuelle AAAI sur la robotique mobile[1].

1995 : Mise en place de la RoboCup[1].

1997 : premier robot mobile extra planétaire sur Mars[1].

1999 : Lancement d'aibo[1].

Robots d'exploration :

2003 : Projet « Mars Exploration Rover » (Spirit &Opprtunity)[1].

2000 : Lancement d'Asim[1].

Diversification des compétences de robotique[1].

Utilisation de drone en situation réelle[1].

2006 : Le projet Aibo n'est plus assez rentable, fin de la production[1].

2009 : robot Nao utilise a la Robocup Soccer[1].

2009 : Projet « Mars Science Laboratory » succédant au projet Rover ; envoi prévu de Curiosity fin2011[1].

1.4 Types de robots mobiles :

Il est possible de classifier les robots mobiles de nombreuse manière et selon de nombreux critères tels : le domaine d'application, le degré d'autonomie, le degré d'intelligence.

Nous avons préféré les classifier selon leur mobilité puisqu'elle est l'une de leurs caractéristiques essentielles, selon leur mode de locomotion [2]:

1.4.1 Les robots à pattes :

1.4.1.1 A une patte :

Un robot doté d'une seule patte a été assemblé au Massacheutts Institute technologie (MIT). Le robot sautille sur une patte orientable à deux degrés de liberté, il est utilisé pour assister les gens qui n'avaient pas de pied[2].

1.4.1.2 A deux pattes :

les robots a deux pattes ou bipèdes sont surtout développés au japon à partir de 1986, où les progrès dans ce segment sont assez signifiants[2].



Figure 1-1: évolution du robot bipède selon Sony

1.4.1.3 À quatre pattes :

le robot de compagnie AIBO (robot chien) de la firme SONY, le robot chien développé par Boston Dynamics[2].



Figure 1-2:le robot chien de Boston Dynamics

1.4.1.4 Les robots à six ou huit pattes :

Ce sont les robots à pattes les plus répandus à travers le monde. Avec leurs six pattes ils sont statiques mais aussi facile à programmer et mettre en œuvre[2].



Figure 1-3:robot mobile hexapode

1.4.1.5 Les robots « mille-pattes » :

Ces robots sont très utilisés dans l'entretien et la réparation des conduites et autres endroits inaccessibles[2].



Figure 1-4:un mini robot mille pattes

1.4.2 Robots mobiles à chenille :

Les chenilles assurent à un mobile une meilleure adhérence au sol. Elles sont employées lorsque le sol est perturbé, essentiellement en environnement extérieur. La commande est de type différentiel (differential drive). On peut citer le robot ANT de la West Virginia University[2].



Figure 1-5:robot mobile à chenille

1.4.3 Robots volants (drones) :

Les drones, petits avions autoguidés ou téléguidés ont de nombreuses applications militaires et éventuellement civiles (surveillance d'autoroutes). Des projets visent à réaliser un avion autonome de moins de 20cm d'envergure, transportant une caméra infrarouge et un transmetteur radio[2].



Figure 1-6:Robots volants

1.4.4 Robots navigants :

La construction d'un robot bateau ou sous-marin est facilitée par le fait que le poids n'est pas un facteur limitatif à la mobilité. Ces derniers sont notamment utilisés dans le secteur pétrolier (off-shore) et dans l'exploration sous-marine[2].



Figure 1-7: Robots navigants

1.4.5 Robots mobiles à roues :

La commande se fait par la motorisation des roues installées. On peut distinguer quatre modèles des robots mobiles à roues [2]:

1.4.5.1 Robot mobile uni cycle :

Ce modèle est actionné par deux roues indépendantes, il possède éventuellement des roues folles pour assurer sa stabilité. Son centre de rotation est situé sur l'axe reliant les deux roues motrices[2].



Figure 1-8: robot auto-balance unicycle

1.4.5.2 Robot tricycle :

Un robot de type tricycle est constitué de deux roues fixes placées sur un même axe et d'une roue centrée orientable placée sur l'axe longitudinal. Le mouvement du robot est donné par la vitesse des deux roues fixes et par l'orientation de la roue orientable. Son centre de rotation est situé à l'intersection de l'axe contenant les roues fixes et de l'axe de la roue orientable[2].



Figure 1-9:robot tricycle

1.4.5.3 Robot omnidirectionnel:

Un robot omnidirectionnel est un robot qui peut se déplacer librement dans toutes les directions. Il est en général constitué de trois-roues décentrées orientables placées en triangle équilatéral. L'énorme avantage du robot omnidirectionnel est qu'il est holonome puisqu'il peut se déplacer dans toutes les directions. Mais ceci se fait au dépend d'une complexité mécanique bien plus grande[2].



Figure 1-10: robot mobile omnidirectionnel

1.4.5.4 Robot voiture :

Un robot de type voiture est semblable au tricycle, il est constitué de deux roues fixes placées sur un même axe et de deux roues centrées orientables placées elles aussi sur un même axe. Le robot de type voiture est cependant plus stable puisqu'il possède un point d'appui supplémentaire. Toutes les autres propriétés du robot voiture sont identiques au robot tricycle, le deuxièmes pouvant être ramené au premier en remplaçant les deux roues avant par une seule placée au centre de l'axe, et ceci de manière à laisser le centre de rotation inchangé[2].



Figure 1-11:robot mobile de type voiture

1.5 Domaines d'utilisations

L'évolution de la robotique a permis de l'intégrer presque dans tous les domaines en remplaçant les humains pour faire des taches dangereuses et de précision, nous allons explorer ces différents domaines [3]:

1.5.1 L'industrie :

Le but premier des robots est de remplacer l'homme dans des activités fastidieuses ou onéreuses pour l'employeur. Les robots ont donc commencé à être utilisés dans les chaînes d'assemblage industrielles. Dans ces chaînes d'assemblage, on retrouve des robots soudeurs, manipulateurs, peintres.

1.5.2 Le domaine militaire :

Les robots sont de plus en plus utilisés dans le domaine militaire. En effet, la miniaturisation permet aujourd'hui de créer des robots discrets mais dotés de nombreux capteurs, ce qui est idéal pour des missions d'espionnage ou d'éclairement.

1.5.3 La santé :

Les robots commencent à être de plus en plus dans le domaine médical, qu'il s'agisse de « simples » échographies ou d'opérations chirurgicales plus délicates. En fait ces robots ne sont pas complètement autonomes mais ils assistent les médecins ou chirurgiens, jusqu'à permettre des opérations médicales à distance.

1.5.4 Utilisation civile et domestique :

De plus en plus de tâches sont confiées aux robots. Ils servent à remplacer les personnes qui sont chargées de taches civiles (Nettoyer la ville, aider la population, s'occuper des lieux publics, servir dans les restaurants...) et effectuer des tâches à la place de leur propriétaire. Ceux-ci sont capables de faire le ménage, tondre la pelouse, nettoyer la piscine...

1.5.5 Utilisation agricole :

comme tous les autres domaines l'agriculture a aussi intégrer les robots pour faire les taches difficiles et fatigantes avec rapidité et précision donc on trouve et les robots de tonte des moutons qui peuvent être utilisés pour des tâches comme l'élagage, le désherbage, la pulvérisation de produits phytosanitaires et le contrôle.

1.6 Constituants mécaniques des robots :

1.6.1 Organe terminal :

Sous le terme organe terminal, on regroupe tous dispositif destiné à manipuler des objets (dispositifs de serrage, dispositifs magnétiques, à dépression …) ou à les transformer (outils, torche de soudage, pistolet de peinture…). Il permet au robot d'interagir avec son environnement. Un organe terminal peut être multifonctionnel, c'est-à-dire qu'il est équipé de plusieurs dispositifs ayant des fonctionnalités différentes[1].

1.6.2 Structure mécanique articulée :

Le rôle de la structure mécanique articulée est d'amener l'organe terminal dans une situation (position et orientation) désirée, selon des caractéristiques de vitesse et d'accélération prédéterminées. Son architecture est une chaine cinématique de corps, généralement rigides ou supposée comme tels, assemblés par des liaisons appelées articulations. Les chaines peuvent être soit ouvertes simples, soit arborescentes, soit fermées[1]**.**

1.6.3 Articulations :

Une articulation lie deux corps successifs en limitant le nombre de degrés de liberté de l'un par rapport à l'autre. Soit m le nombre de degrés de liberté résultant de la mobilité de l'articulation. La mobilité est telle que : $1< m \leq 6$Lorsque m = 1, ce qui est le cas le plus fréquent en robotique, l'articulation est dite simple soitrotoïde, soit prismatique[1]**.**

1.7 Les éléments constitutifs d'un robot :

La structure fonctionnelle d'un robot comporte une unité dite informationnelle et une unité dite opérationnelle

1.7.1 Unité informationnelle :

L'unité informationnelle reçoit les instructions décrivant la tâche à accomplir, les mesures relatives à l'état interne de la structure mécanique qui constitue les robots et les observations concernant son environnement. Elle élabore en conséquence les commandes de ses différentes articulations en vue de l'exécution de ses tâches. Les systèmes actuels fonctionnent en interaction permanente selon le cycle information décision- action[1].

1.7.2 Unité opérationnelle :

L'unité opérationnelle exerce les actions commandées en empruntant la puissance nécessaire à la source d'énergie. Cette partie, qui constitue le robot physique, intègre la structure mécanique (segments, articulations, architecture,…), les modules d'énergie (amplificateurs, variateurs, servovalves....), les convertisseurs d'énergie (moteurs, Vérins….), les chaines cinématiques de transmission mécanique (réducteurs, vis à billes, courroies crantées ….), les capteurs de proprioceptifs placés sur chaque axe pour mesurer en permanence leur position et leur vitesse, et enfin l'effecteur, ou organe terminal, qui est en interaction avec l'environnement[1].

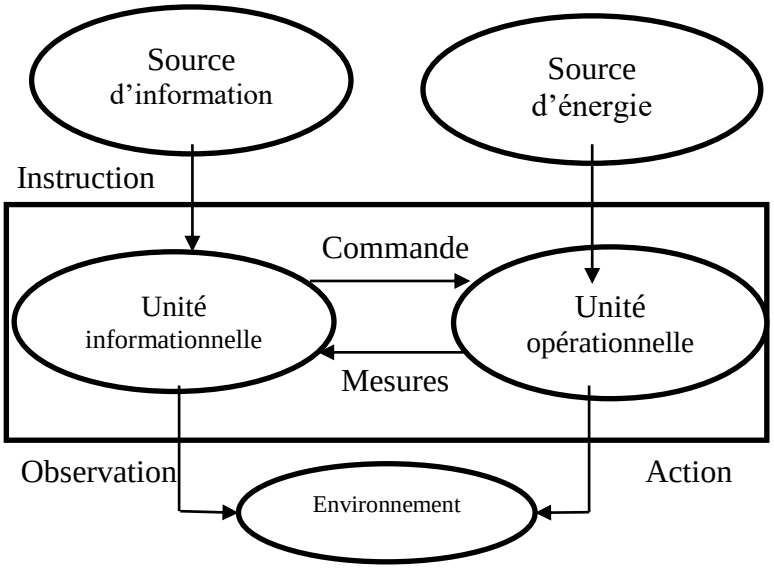


Figure 1-12:structure fonctionnelle d'un robot

1.8 Historique d'intégration des machines dans le domaine agricole :

L'utilisation d'animaux dans l'agriculture et l'utilisation continue d'outils ont augmenté la taille de nombreuses fermes. Cela a permis aux agriculteurs de cultiver plus de terres.

Le caschrom a été inventé au Moyen Âge pour labourer la terre. En poussant le repose-pied dans le sol et en tirant la poignée vers l'arrière, un agriculteur pourrait déchirer le sol et le renverser. La principale cause de la révolution agricole a été l'introduction de machines. Une machine bien connue introduite à cette époque était l'égreneur de coton d'Eli Whitney, l'une des premières machines utilisées en agriculture. Eli Whitney, né dans le Massachusetts, a breveté son égrenage de coton le 14 mars 1794. Cette machine était capable de séparer rapidement les graines de coton des fibres de coton, créant jusqu'à cinquante livres de coton nettoyé par jour, l'équivalent de centaines d'heures-homme. Première machine majeure de la révolution agricole, l'égreneuse de coton a ouvert la voie à nos machines agricoles modernes[4].

Les robots ne sont pas une nouveauté en agriculture puisque les premiers prototypes, Magali ou encore Lély, sont apparus dès la fin des années 1970 pour aider les agriculteurs aux travaux de labour, de la traite et de la cueillette des fruits. Mais ils se présentaient de manière rudimentaire comme des membres articulés rattachés à des engins manipulés par l'agriculteur, et restaient anecdotiques en raison de nombreux freins technologiques[5].

1.9 Les robots dans l'agriculture :

Les robots ont de nombreux domaines d'application en agriculture. Parmi les exemples et prototypes de robots agricoles on peut citer notamment Merlin Robot Milker, Rosphere, Harvest Automation, Orange Harvester, lettuce bot et les robots désherber de Naïo Technologies.

Un cas d'utilisation à grande échelle de robots agriculture est le celui des robots de traite. Ceux-ci sont très répandus dans les fermes laitières britanniques en raison de leur efficacité et de l'absence d'obligation de déplacement. Selon David Gardner (directeur général de la Société royale d'agriculture d'Angleterre), un robot peut accomplir une tâche compliquée si elle est répétitive et si le robot peut rester immobile. En outre, les robots qui travaillent sur des tâches répétitives (comme la traite) remplissent leur rôle avec une grande régularité et une adaptation spécifique à la tâche[6].

Un autre domaine d'application est l'horticulture. Une application horticole est le RV 100, mis au point par la société Harvest Automation Inc. Ce robot est conçu pour transporter des plantes en pot dans une exploitation horticole en serre ou en plein air. Les fonctions du RV 100 dans la manipulation et l'organisation des plantes en pot incluent également des capacités d'espacement, de collecte et de consolidation. Les avantages de l'utilisation du RV 100 pour cette tâche sont notamment la grande précision du placement des pots, l'autonomie de fonctionnement à l'extérieur et à l'intérieur, et la réduction des coûts de production[7].

1.10 Configuration des terrains :

A la différence des sols urbains et des routes goudronnées, le sol naturel peut être facilement déformable et faiblement cohésif à l´échelle des efforts envisagés.

La mobilité sur sol déformable présente plus d'intérêt dans le cadre de la traction tout-terrain. On cherche donc à commander un véhicule sur sol meuble et faiblement cohésif tel que le sable, la poussière, la neige, etc. Il existe *a priori* une grande variété de terrains naturels, tant du point de vue topographique que des propriétés physico-chimiques. On peut classer les types de terrains en deux grandes familles :

– les sols rigides.

– les sols déformables.

Cette distinction n'a de sens que relativement à un véhicule donné. Un sol rigide pour un véhicule léger peut être considéré comme déformable s'il est traversé par un véhicule plus lourd ou si la surface de contact est plus faible. Les sols rigides sont caractérisés par une déformation négligeable, donc un enfoncement négligeable. Il n'y a pas de division de matière ni d'écoulement. Par exemple, on considèrera qu'une route goudronnée est un sol rigide pour un véhicule routier conventionnel. Les sols meubles sont déformables. De plus, ils peuvent présenter une faible cohésion et se diviser. On peut alors les subdiviser en deux classes :

– les sols déformables cohésifs.
– les sols granulaires. Les sols argileux humides, par exemple, seront considérés comme déformables cohésifs, tandis que les sols sablonneux, gravillonnais ou rocailleux sont granulaires[8].

1.11 Difficulté d'exploitation des terrains :

Les robots mobiles ont besoin de s'adapter au terrain qu'il exploite que ce soit à la configuration géométrique ou physique de la terre, on trouve plusieurs configurations géométriques dans le milieu naturel et comme le robot va travailler dans différents conditions, il doit avoir facteurs pour pouvoir résisté au changement des exigences de travail[9] :

1.11.1 La mobilité :

Pour le robot agriculteur l'aptitude de voyager c'est le plus important facteur car les surfaces ne sont pas planes et réguliers, elles sont rugueuses, rocheuses et parfois difficiles à traverser donc la détection des obstacles, la traction mécanique, la flexibilité du véhicule le contrôle et la navigation sont des facteurs qui facilitent la bonne exploitation du robot[9].

1.11.2 L'environnement :

Les problèmes comme la température élevée ou le froid, les facteurs de corrosions, la poussière et le vent et les propriétés physiques du sol fortement agies sur la fiabilité et le résultat du travail à commander.

Dans le domaine de l'agriculture, l'augmentation de la dimension des surfaces à cultiver, des besoins de productivité et de précision, l'optimisation de la consommation d''énergie, de produits phytosanitaires et de semences, vont dans la direction d'une automatisation croissante. Cette tendance s'accompagne d'un besoin d'amélioration des connaissances dans les algorithmes de commande et l'interaction avec le sol[9]l. La commande de robots mobiles rapides implique des contraintes spécifiques :

1.11.3 Traction et glissement :

La locomotion sur des terrains à faible adhérence ou à faible cohésion implique l'apparition de glissements et de dérapages, ce qui provoque une diminution de la traction et une altération de la commande, voire une perte de stabilité du véhicule. La plupart des travaux cherchent à éviter ou minimiser les glissements, et maximiser la propulsion. D'autres approches consistent à identifier le type de sol parcouru afin d'adapter la commande. Cette identification peut se faire par analyse visuelle par analyse vibratoire ou par d'autres techniques[9].

1.11.4 Systèmes de direction :

Les systèmes robotiques à roues évoluant en milieu extérieur doivent pouvoir modifier la direction de leur mouvement, Il existe plusieurs architectures cinématiques possibles réalisant cette fonction[9].

1.11.4.1 Braquage différentiel (dit d'Ackerman) :

Sur un des essieux, un couplage mécanique assure la rotation coordonnée des roues par rapport à l'axe vertical, de manière à satisfaire les contraintes cinématiques du véhicule, dans l'hypothèse où la plateforme est en mouvement plan. Dans un virage, l'angle de braquage de

la roue extérieure est plus petit que l'angle de la roue intérieure. Ainsi les normales aux plans sagittaux des roues sont concourantes en un point, le centre instantané de rotation (CIR), qui se situe sur la droite passant par les centres des roues non directrices, Cette cinématique est couramment utilisée sur les véhicules routiers[9].

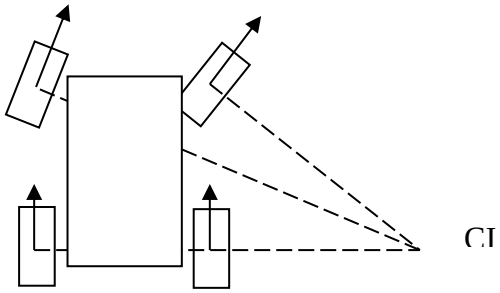


Figure 1-13 : Braquage différentiel

1.11.4.2 **Châssis articule :**

Le châssis est composé de deux ou plusieurs parties orientables les unes par rapport aux autres, par des liaisons actives ou passives. Notons que le cas d'un essieu articulé est un cas particulier (essieu à « cheville ouvrière »). Les véhicules ferroviaires sont un exemple de cette configuration avec des liaisons assises entre les wagons[9].

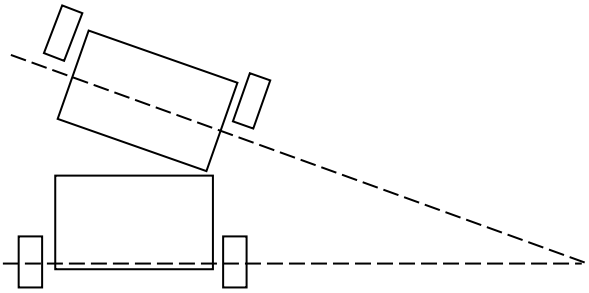


Figure 1-14 : cinématique chassie articule

1.11.4.3 **Roues directionnelles indépendantes :**

Les roues sont orientables indépendamment. C'est la configuration qui présente la plus grande mobilité, Elle permet des manœuvres impossibles à réaliser avec les autres mécanismes, comme le d´déplacement en crabe. Elle permet aussi la rotation autour du centre de la plateforme.

L'inconvénient de cette architecture est la complexité de la motorisation des axes de direction et la mise en œuvre d'une commande assurant la coordination mécanique des actionneurs avec une précision suffisante. Cela rend le système mécanique plus complexe, plus lourd et moins robuste[9].

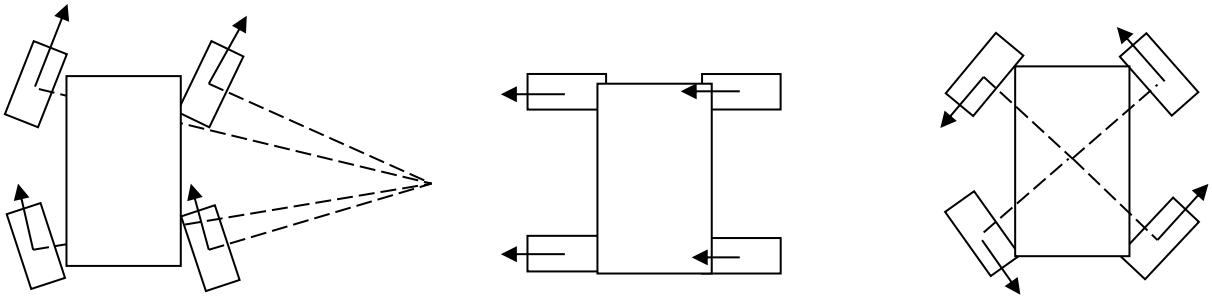


Figure 1-15 : Cinématique à quatre roues indépendantes

1.11.4.4 **Roues non directionnelles :**

Les essieux sont fixes par rapport à la plateforme. Le changement de cap est possible grâce à un différentiel de force de traction entre les deux flancs du châssis. Cette différence de force motrice est elle-même obtenue par une différence de vitesses de rotation des roues. Dans cette architecture, le glissement latéral des roues est une condition nécessaire de la rotation de la plateforme.

La position du centre instantané de rotation est fonction de la vitesse de glissement et de la vitesse de lacet. La présence de glissement limite grandement l'exploitation des mesures odométrie.

Cependant, cette configuration est particulièrement robuste et légère La commande est relativement simple[9].

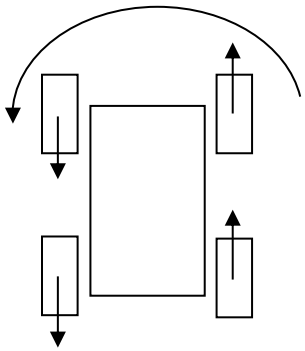


Figure 1-16 : cinématique roues non directionnelles

1.12 La solution apportée :

1.12.1 Tracteurs :

Les tracteurs sont les machines les plus utilisées dans l'industrie agricole. Il peut effectuer de nombreuses tâches, telles que l'arrosage, la pulvérisation de pesticides, l'épandage de graines et la récolte. Les tracteurs peuvent être partiellement considérés comme robotiques car un tracteur doit être piloté par un conducteur, sauf s'il est de type autonome. L'avantage d'utiliser des tracteurs dans le domaine agricole est que les traceurs peuvent effectuer des tâches rapidement, mais ils ne sont généralement pas très bons en agriculture de précision[10].



Figure 1-17:Tracteurs en agriculture

1.12.2 Les Drones :

De nos jours, les drones volants sont utilisés dans l'industrie agricole. Les drones peuvent transporter de l'eau ou des graines et les répandre sur le terrain agricole. Le bon aspect de l'utilisation des drones est qu'il permet un arrosage rapide et une propagation des graines. De plus, les drones peuvent être utilisés pour la pulvérisation de pesticides et la surveillance, etc. Les applications des drones volants peuvent non seulement être vues dans l'industrie agricole, mais aussi dans de nombreux autres domaines, tels que les sports, les tournages vidéo et l'armée. Au fur et à mesure que les drones effectuent, par exemple, l'arrosage ou la pulvérisation de pesticides, le poids de l'eau ou des pesticides que les drones contiennent change, alors comment contrôler les drones avec la situation de changement de poids peut être une tâche difficile[10].



Figure 1-18: les drones en agriculture

1.12.3 Agriculture en intérieur :

Le concept d'agriculture verticale intérieure a été introduit récemment, et des robots ont été utilisés dans l'agriculture intérieure. Les avantages de l'agriculture en intérieur sont qu'elle ne dépend pas fortement des conditions météorologiques et qu'elle occupe également un espace plus petit par rapport à l'agriculture traditionnelle sur grand espace[10].



Figure 1-19: La technologie d'agriculture en intérieur

1.12.4 Les robots autonomes :

Les robots autonomes trouvent leur chemin vers de plus en plus de fermes. De la pulvérisation au désherbage en passant par la prévision des rendements, les robots autonomes contribuent à combler les vides de l'industrie agricole en difficulté. La population mondiale devrait augmenter de plus d'un tiers d'ici 2050, mais les pénuries de main-d'œuvre dans l'agriculture ont entraîné une baisse de la production agricole de plusieurs milliards de dollars américains.

La technologie de vision et d'apprentissage automatique a récemment fait des progrès qui permettent aux robots autonomes de voir et de cartographier leur environnement. La baisse du coût des capteurs connectés a rendu la mise en œuvre de ces technologies plus abordable, même pour les petites exploitations. La réduction des coûts est cruciale, car près de la moitié des dépenses agricoles américaines vont désormais aux salaires et à la main-d'œuvre[10].



Figure 1-20:Le robot autonome AgBot II

1.13 Conclusion :

Dans cette partie on a présenté une vue générale sur les robots : la définition, les différents types, les domaines d'applications et les éléments qui les constituent et cela nous a donné une idée de la façon à procéder pour la programmation.

On a présenté aussi l'historique de l'intégration des machines dans l'agriculture, les différentes configurations des terraines, les difficultés de l'exploitation de ces terraines comme la traction, le glissement, la mobilité et le système de direction et enfin les solutions utilisées pour vaincre les difficultés et pouvoir augmenter le rendement.

2 Chapitre 2 : Etude, conception mécanique et simulation du robot :

2.1 Introduction :

L'agriculture comme tous domaines a pris sa part du développement technologique telle que l'utilisation des robots à la place des humains pour faire les taches difficiles de façon rapide et fiable et pour ces taches on a choisi un robot mobile a six roues avec un mécanisme qui s'appelle
« Rocker-bogie » qui donne une certaine flexibilité pour permettre au robot de rouler sur des terrains accidenté avec stabilité .

Dans ce chapitre on va faire une analyse fonctionnelle du robot avec les outils :

La **bête à cornes**, qui permet d'exprimer la recherche du besoin.

Le **diagramme pieuvre**, qui permet de définir les liens (c'est-à-dire les fonctions de Service) entre le système et son environnement. Ce diagramme permet de recenser la Plupart des fonctions du système.

Les diagrammes **FAST**, qui permettent la recherche de solutions technologiques[11]. La conception de robot : l'esquisse, le choix de système de direction, la description de la suspension, les équations de la position de la suspension, les schémas et les calculs cinématiques, calcul statique des efforts, le dimensionnement général de robot, le couple de rotation et la simulation dans SolidWorks sont les différents points de l'étude.

2.2 Analyse fonctionnelle du projet :

2.2.1 La bête à cornes :

Pour établir la bête à cornes, il est essentiel de se poser les trois questions suivantes :

- À qui, à quoi le produit rend-il service ?
- Sur qui, sur quoi agit-il ?
- Dans quel but ? (Pour quoi ?)

L'expression du besoin est un outil de représentation de ces questions fondamentales[11] :

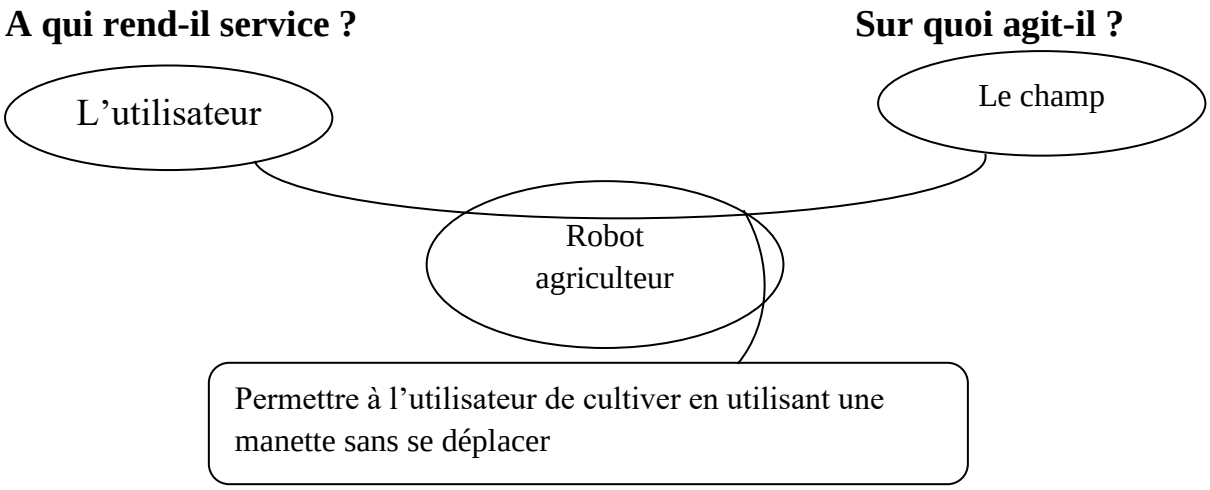


Figure 2-1 : Diagramme Bête à Corne exprimant le besoin du Robot agriculteur

2.2.2 Diagramme Pieuvre :

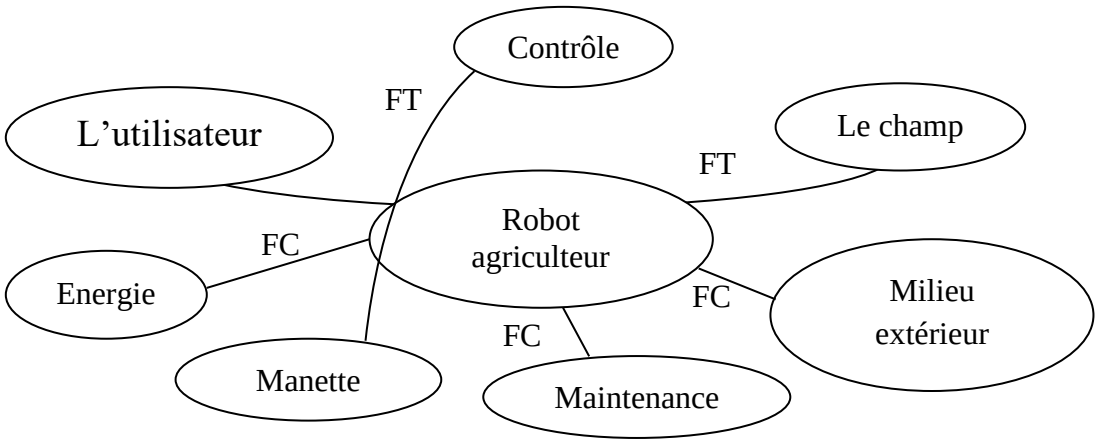


Figure 2-2: Diagramme Pieuvre reliant le robot avec son environnement extérieur

2.2.3 Digramme FAST du robot agriculteur :

Fonction	Description
FT1	Permettre à l'utilisateur de cultiver le champ sans avoir à se déplacé
FT2	Pouvoir contrôler le robot à distance avec la manette
FC1	Assurer l'énergie au robot
FC2	Être facile à maintenir
FC3	Être résistant aux différentes situations et climats du milieu extérieur

Tableau 2-1:tableau de discription des fonctions de diagramme pieuvre

Un diagramme FAST (Functional Analysis System Technique) présente une de composition hiérarchisée des fonctions du système allant des fonctions de service (fonctions en lien avec le milieu extérieur) et passant par les fonctions techniques(fonctions internes au système) jusqu'à l'énoncé des solutions technologique employées ou prévues pour remplir les fonctions techniques[11].

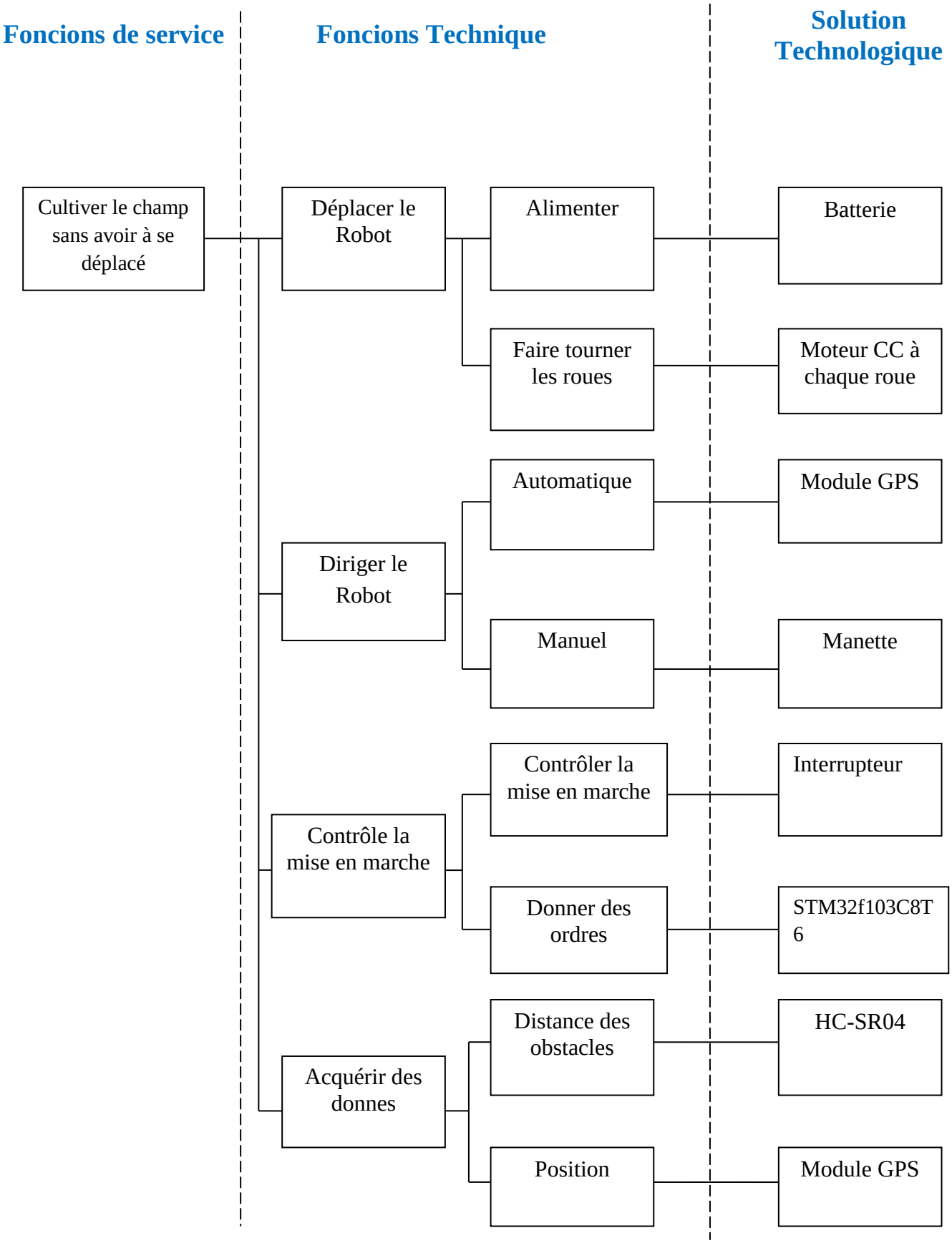


Figure 2-3:Diagramme FAST du Robot agriculteur

2.3 Conception :

Il y a plusieurs modèles concernant la locomotion mobile et pour ce projet on a choisi la structure « rocker bogie mécanisme ».

L'une des principaux mécanismes des rovers planétaires actuels, Ils sont lents afin de pouvoir surmonter un terrain sensiblement accidenté (obstacles de plus de quelques pour cent du rayon de roue) sans risque significatif de renverser le véhicule ou d'endommager la suspension, Ces robots se déplacent lentement et franchissent les obstacles en faisant soulever les roues de chaque pièce de la suspension sur l'obstacle une portion à la fois. La conception actuellement préférée de la NASA, le bogie à bascule, utilise un culbuteur à deux roues sur un pivot passif, c'est concevoir un véhicule robotique capable d'effectuer des tâches pour une mission de retour d'échantillons dans les paramètres et les exigences de Université Rover Challenge attaché à un bogie principal qui est connecté différentielle- ment au bogie principal de l'autre côté.

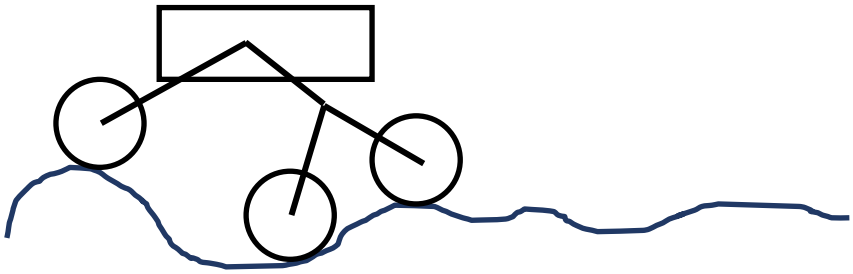


Figure 2-4:système de suspension du bogie basculant

Le mécanisme de suspension à bogie basculant qui est actuellement la conception approuvée par la NASA pour les robots mobiles à roues, principalement parce qu'il a des capacités robustes ou résilientes pour faire face aux obstacles et parce qu'il répartit uniformément la charge utile sur ses 6 roues à tout moment.

Il peut également être utilisé à d'autres fins pour fonctionner sur des routes accidentées et pour monter les marches. Il présente de nombreux avantages, mais l'un des principaux inconvénients est la rotation du mécanisme au moment et à l'endroit requis. La rotation peut être possible en fournissant des moteurs individuels à 6 roues individuelles, ce qui entraîne des coûts et des complications de conception[12].

2.3.1 Esquisse :

Dans le système, « bogie » fait référence aux maillons conjoints qui ont une roue motrice attachée à chaque extrémité

La conception du bogie à bascule est choisie de sort qu'elle ne comprend ni ressorts ni fusées dans chaque roue, ce qui permet au châssis de franchir tous les obstacles, tels que les rochers, les fossés, le sable, etc. qui peuvent doubler le diamètre de la roue tout en gardant toutes les roues en marche pour un temps maximum au sol. Par rapport à tout système de suspension, la stabilité de l'inclinaison est limitée par la hauteur du centre de gravité et le système de suspension proposé est celui utilisant des ressorts qui ont tendance à basculer plus facilement car le côté chargé cède pendant la course d'obstacles. En fonction du centre du poids total, tout véhicule développé sur la base de la suspension à bogie Rocker peut résister à une inclinaison d'au moins 50 degrés dans toutes les directions sans se renverser, ce qui est

le plus grand avantage pour tout véhicule à chargement lourd. Le système est conçu pour être mis en œuvre dans les véhicules de travail à basse vitesse tels que les camions lourds, les bulldozers qui fonctionnent à une vitesse lente d'environ (9,906 cm / s) afin de minimiser les chocs dynamiques et les dommages consécutifs au véhicule lors du franchissement d'obstacles de taille importante.

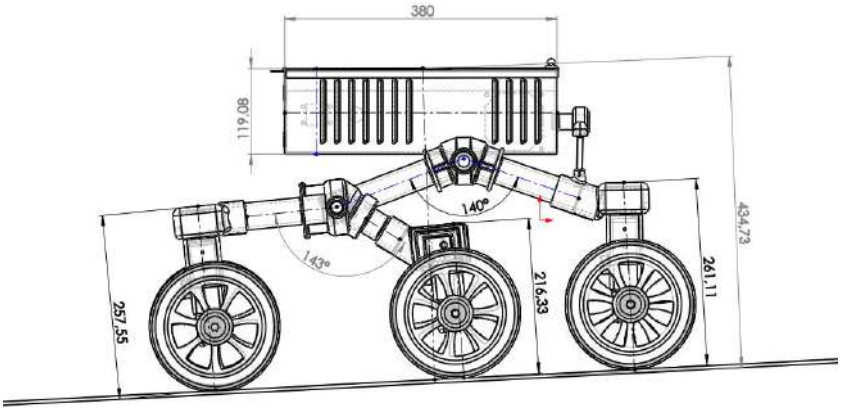


Figure 2-5:L'esquisse de système du bogie

2.3.2 Choix de Systèmes de direction :

On a choisi le système de direction à roues directionnelles indépendantes :
C'est un système qui présente la plus grande mobilité possible pour opérer dans les terrains naturels et une grande capacité d'éviter les obstacles plus rapidement.

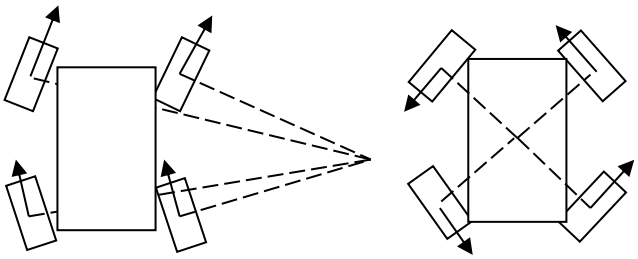


Figure 2-6: Système à roues directionnelles

2.3.3 Schéma cinématique

Le schéma cinématique représente les différentes liaisons entre les pièces de robot.

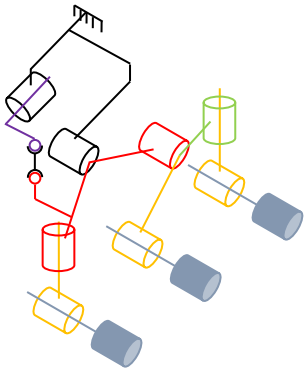


Figure 2-7: schéma cinématique de robot

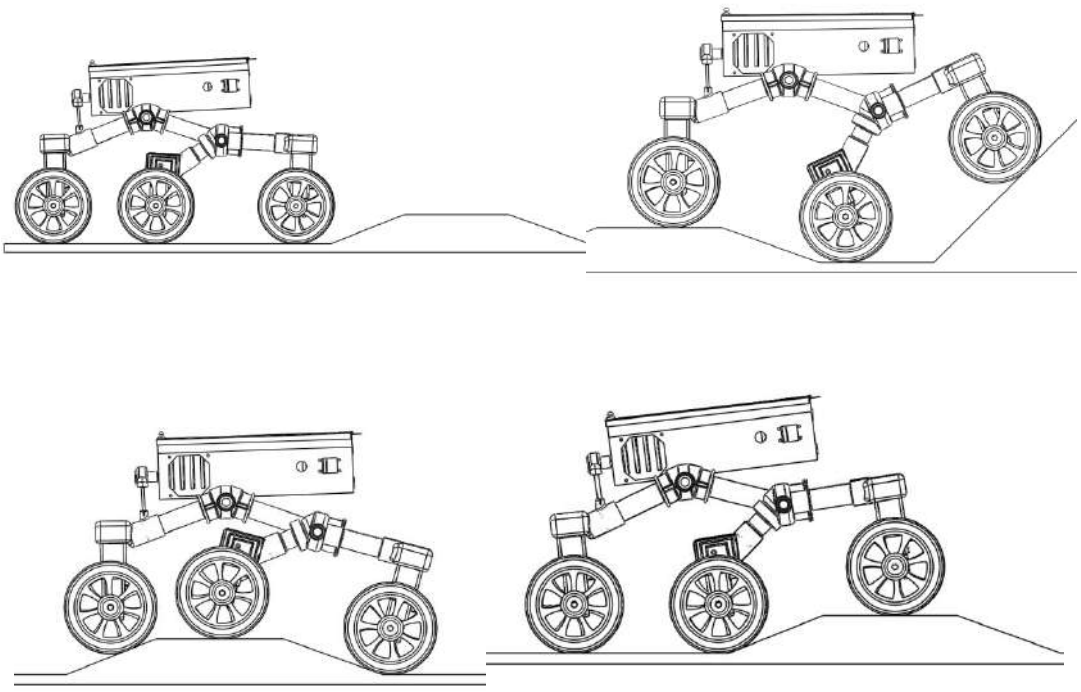


Figure 2-8: le comportement de la suspension en traversant un obstacle

Ces figures représentent la mobilité et les mouvements possibles du châssis lors d'un passage par un obstacle.

2.3.4 Description des positions et vitesses de la suspension :

A, B et C se sont les points au centre des axes des roues et le point k représente l'articulation à pivot libre entre la bascule et le bogie. Le point D est l'articulation différentielle entre la bascule et le corps et le point G est le centre de masse du corps, le système est défini par les vecteurs de longueurs constantes AD, BD, CD et DE.

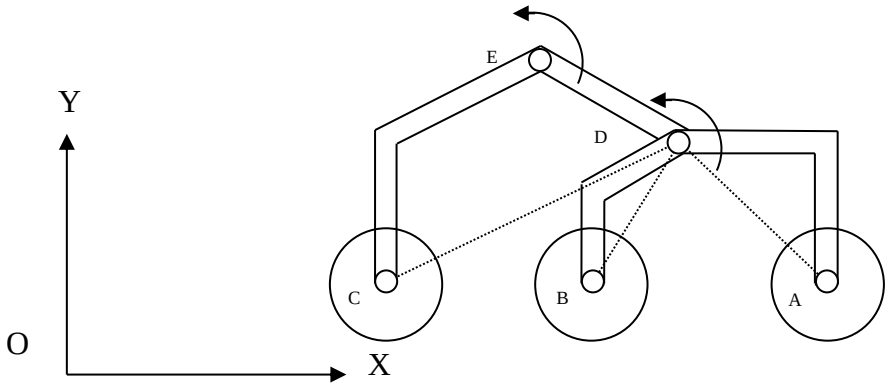


Figure 2-9: modèle planaire de robot

Les roues aux points A, B et C sont actionnée par des moteurs, si Ω_C, Ω_B et Ω_A sont les vitesses angulaires donc les vitesses linéaires des périphériques des roues sont, en supposant un roulement sans glissement [12]:

$$\mathbf{V_A} = \mathbf{r}.\Omega_\mathbf{A} \quad (1)$$

$$\mathbf{V_B} = \mathbf{r}.\Omega_\mathbf{B} \quad (2)$$

$$\mathbf{V_C} = \mathbf{r}.\Omega_\mathbf{C} \quad (3)$$

Les équations cinématiques :

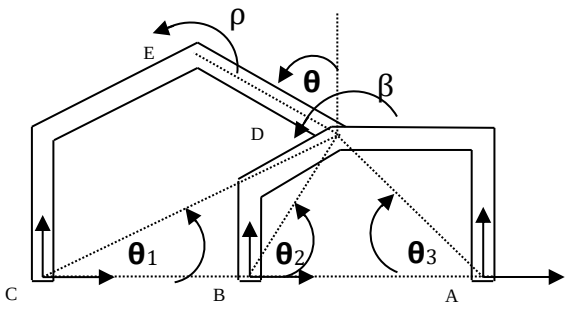


Figure 2-10: affectation du chassi

La position du point D par rapport au point A :

$$\mathbf{X_D} = \mathbf{X_A} + \mathbf{AD}.(-\mathbf{cos}(\boldsymbol{\theta_3} - \boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{\rho})) \quad (10)$$

$$\mathbf{Y_D} = \mathbf{Y_A} + \mathbf{AD}.\mathbf{sin}(\boldsymbol{\theta_3} - \boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{\rho}) \quad (11)$$

La position du point D par rapport au point B :

$$\mathbf{X_D} = \mathbf{X_B} + \mathbf{BD}.\mathbf{cos}(\boldsymbol{\theta_2} + \boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\rho}) \quad (12)$$

$$\mathbf{Y_D} = \mathbf{Y_B} + \mathbf{BD}.\mathbf{sin}(\boldsymbol{\theta_2} + \boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\rho}) \quad (13)$$

La position du point D par rapport au point C :

$$\mathbf{X_D} = \mathbf{X_C} + \mathbf{CD}.\mathbf{cos}(\boldsymbol{\theta_1} + \boldsymbol{\rho}) \quad (14)$$

$$\mathbf{Y_D} = \mathbf{Y_C} + \mathbf{CD}.\mathbf{sin}(\boldsymbol{\theta_1} + \boldsymbol{\rho})) \quad (15)$$

La vitesse du point D par rapport au point A :

$$\mathbf{V_{DX}} = \mathbf{V_{AX}} - (\dot{\boldsymbol{\beta}} + \dot{\boldsymbol{\rho}}) * \mathbf{AD}.(\mathbf{sin}(\boldsymbol{\theta_3} - \boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{\rho})) \quad (16)$$

$$\mathbf{V_{DY}} = \mathbf{V_{AY}} - (\dot{\boldsymbol{\beta}} + \dot{\boldsymbol{\rho}}) * \mathbf{AD}.(\mathbf{COS}(\boldsymbol{\theta_3} - \boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{\rho})) \quad (17)$$

La vitesse du point D par rapport au point B :

$$\mathbf{V_{DX}} = \mathbf{V_{BX}} - (\dot{\boldsymbol{\beta}} + \dot{\boldsymbol{\rho}}) * \mathbf{BD}.(\mathbf{sin}(\boldsymbol{\theta_2} + \boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\rho})) \quad (18)$$

$$\mathbf{V_{DY}} = \mathbf{V_{BY}} + (\dot{\boldsymbol{\beta}} + \dot{\boldsymbol{\rho}}) * \mathbf{BD}.(\mathbf{COS}(\boldsymbol{\theta_2} + \boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\rho})) \quad (19)$$

La vitesse du point D par rapport au point C :

$$\mathbf{V_{DX}} = \mathbf{V_{CX}} - \dot{\boldsymbol{\rho}} * \mathbf{CD}.(\mathbf{sin}(\boldsymbol{\theta_1} + \boldsymbol{\rho})) \quad (20)$$

$$\mathbf{V_{DX}} = \mathbf{V_{CX}} + \dot{\boldsymbol{\rho}} * \mathbf{CD}.(\mathbf{COS}(\boldsymbol{\theta_1} + \boldsymbol{\rho})) \quad (21)$$

La position du point E par rapport au point D :

$$\mathbf{X_E} = \mathbf{X_D} - \mathbf{ED}.\mathbf{sin}(\boldsymbol{\theta_4} + \boldsymbol{\rho}) \quad (22)$$

$$\mathbf{Y_E} = \mathbf{Y_D} + \mathbf{ED}.\mathbf{cos}(\boldsymbol{\theta_4} + \boldsymbol{\rho}) \quad (23)$$

La vitesse du point E par rapport au point D :

$$\mathbf{V_{EX}} = \mathbf{V_{DX}} - \dot{\boldsymbol{\rho}} * \mathbf{ED}.(\mathbf{cos}(\boldsymbol{\theta_4} + \boldsymbol{\rho})) \quad (24)$$

$$\mathbf{V_{EY}} = \mathbf{V_{DY}} - \dot{\boldsymbol{\rho}} * \mathbf{ED}.(\mathbf{sin}(\boldsymbol{\theta_4} + \boldsymbol{\rho})) \quad (25)$$

2.3.5 Les équations cinématiques de direction :

Un système de robot mobile à 6roues, sans tenir compte des mouvements de tangage, de roulis et de soulèvement, est illustré sur la figure 2-12. Le robot est entraîné par des moteurs à six roues et par l'intermédiaire de quatre autres moteurs pour faire tourner ces moteurs à quatre roues. x, y et θ sont les postures du robot dans le cadre de coordonnées mondial; Vi désigne la vitesse de la roue i; **φ**i désigne l'angle de braquage de la roue i, a et b sont respectivement la longueur entre le centre de gravité du robot et chaque roue[13]

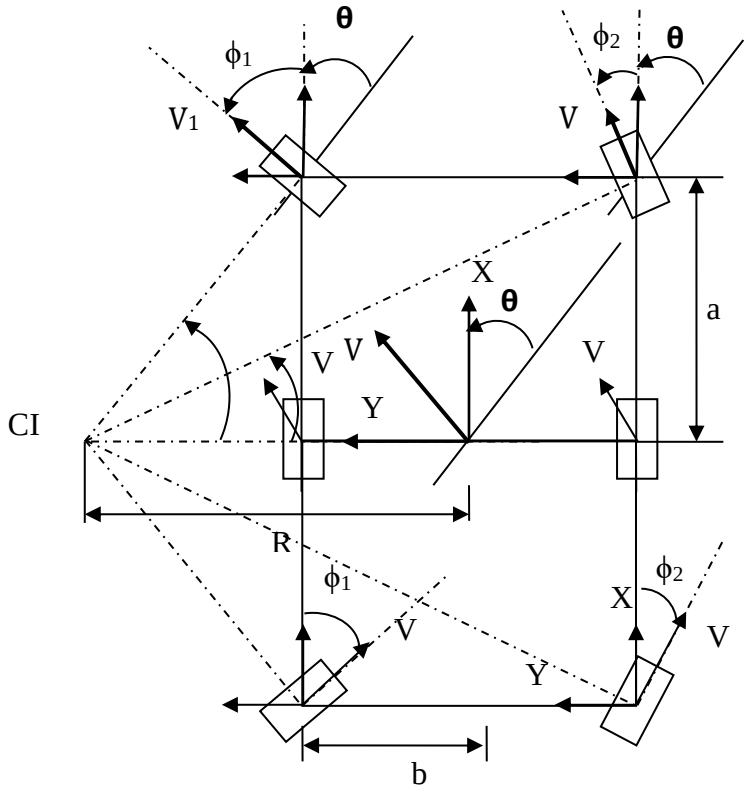


Figure 2-11: cinématique de la direction

$$\boldsymbol{\varphi_1} = \mathbf{tan^{-1}}\frac{\mathbf{a}}{\mathbf{R-b}} \quad (26)$$

$$\boldsymbol{\varphi_2 = \tan^{-1}\frac{a}{R+b}} \quad (27)$$

$$\mathbf{V_1 = {(R-b)}/{\cos\varphi_1} * \omega = r\Omega_1} \quad (28)$$

$$\mathbf{V_2 = {(R+b)}/{\cos\varphi_2} * \omega = r\Omega_2} \quad (29)$$

$$\mathbf{V_4 = {(R-b)}/{\cos\varphi_1} * \omega = r\Omega_4} \quad (30)$$

$$\mathbf{V_3 = {(R+b)}/{\cos\varphi_2} * \omega = r\Omega_3} \quad (31)$$

$$\mathbf{V_4 = (R+b) * \omega = r\Omega_6} \quad (32)$$

$$\mathbf{V_3 = (R-b) * \omega = r\Omega_5} \quad (33)$$

$$\mathbf{2\omega R = r(\Omega_4 + \Omega_3)} \quad (30) + (31) \quad (34)$$

$$\mathbf{a\omega = r(\Omega_4 - \Omega_3)} \quad (30) - (31) \quad (35)$$

$$V = R\omega \quad (36)$$

$$V = \frac{r(\Omega_4+\Omega_3)}{2} = \frac{V_4+V_3}{2} \quad (37)$$

$$\omega = \frac{r(\Omega_4-\Omega_3)}{a} = \frac{V_4-V_3}{a} \quad (38)$$

Hypothèse 1: la position des six roues dans le cadre de coordonnées du robot est prédéfinie par la matrice P et X désignent les coordonnées de la roue i dans le cadre de coordonnées du robot. v et vi sont, respectivement, la vitesse de linéarité du robot et de la roue i, où v = v^2x + v^2y et vi = v^2 xi + v^2 yi, ω est la vitesse angulaire du corps du robot. ωi est la vitesse de direction de la roue i.

Hypothèse 2: Les positions du centre de masse et du centroïde du robot mobile à six roues sont les mêmes**.**

Hypothèse 3: Le rayon et la masse de toutes les roues sont supposés être les mêmes.

Sous aucune condition de glissement, les relations de la vitesse entre chaque roue et le corps du robot sont obtenues par la contrainte de corps rigide pour le robot qui sont représentés comme[13] :

$$V_{iX} = V_1\cos(\varphi_i) = V_X - Y_2\omega \quad (39)$$

$$V_{iY} = V_1\cos(\varphi_i) = V_Y - X_2\omega \quad (40)$$

En substituant les paramètres des six roues en (39) et (40), la relation entre les quatre roues et le corps du robot peut être représenté comme :

$$P=\begin{bmatrix}1 & 0 & -b\\ 0 & 1 & a\\ 1 & 0 & b\\ 0 & 1 & a\\ 1 & 0 & -b\\ 0 & 1 & 0\\ 1 & 0 & b\\ 0 & 1 & 0\\ 1 & 0 & -b\\ 0 & 1 & -a\\ 1 & 0 & b\\ 0 & 1 & -a\end{bmatrix}, \quad X=\begin{bmatrix}\cos(\varphi_1) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ \sin(\varphi_1) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & \cos(\varphi_2) & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & \sin(\varphi_2) & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cos(\varphi_3) & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sin(\varphi_3) & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cos(\varphi_4)\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sin(\varphi_4)\end{bmatrix} \quad (41)$$

La matrice pseudo-inverse de P est :

$$P^{+}=\begin{bmatrix}\frac{1}{6} & 0 & \frac{1}{6} & 0 & \frac{1}{6} & 0 & \frac{1}{6} & 0 & \frac{1}{6} & 0 & \frac{1}{6} & 0\\ 0 & \frac{1}{6} & 0 & \frac{1}{6} & 0 & \frac{1}{6} & 0 & \frac{1}{6} & 0 & \frac{1}{6} & 0 & \frac{1}{6}\\ \frac{-b}{K} & \frac{a}{K} & \frac{b}{K} & \frac{a}{K} & \frac{-b}{K} & 0 & \frac{b}{K} & 0 & \frac{-b}{K} & \frac{-a}{K} & \frac{b}{K} & \frac{-a}{K}\end{bmatrix} \quad (42)$$

$K=4a^2 + 6b^2$

Si on multiplie P^{+} par (47) on obtient :

$$\begin{bmatrix}V_X\\ V_Y\\ \omega\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\frac{\cos(\varphi_1)}{6} & \frac{\cos(\varphi_2)}{6} & \frac{1}{6} & \frac{1}{6} & \frac{\cos(\varphi_3)}{6} & \frac{\cos(\varphi_4)}{6}\\ \frac{\sin(\varphi_1)}{6} & \frac{\sin(\varphi_2)}{6} & 0 & 0 & \frac{\sin(\varphi_3)}{6} & \frac{\sin(\varphi_4)}{6}\\ \frac{-b\cos(\varphi_1)+a\sin(\varphi_1)}{K} & \frac{b\cos(\varphi_2)+a\sin(\varphi_2)}{K} & \frac{-b}{K} & \frac{b}{K} & \frac{-b\cos(\varphi_3)-a\sin(\varphi_3)}{K} & \frac{b\cos(\varphi_4)-a\sin(\varphi_4)}{K}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}V_1\\ V_2\\ V_3\\ V_4\\ V_5\\ V_6\end{bmatrix} \quad (43)$$

Si on combine les deux états du corps du robot, l'angle de rotation des roues et l'angle de braquage des roues, on aura 15 variables d'état à représenter la position et la posture du robot mobile :

$$\dot{q} = [\dot{X} \quad \dot{Y} \quad \dot{\theta} \quad \dot{\delta}_1 \quad \dot{\delta}_2 \quad \dot{\delta}_3 \quad \dot{\delta}_4 \quad \dot{\delta}_5 \quad \dot{\delta}_6 \quad \dot{\varphi}_1 \quad \dot{\varphi}_2 \quad \dot{\varphi}_3 \quad \dot{\varphi}_4 \quad \dot{\varphi}_5 \quad \dot{\varphi}_6] \quad (44)$$

Après des calculs, on obtient le modèle cinématique de Robot mobile comme suit :

$$\dot{q} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\delta}_1 \\ \dot{\delta}_2 \\ \dot{\delta}_3 \\ \dot{\delta}_4 \\ \dot{\delta}_5 \\ \dot{\delta}_6 \\ \dot{\varphi}_1 \\ \dot{\varphi}_2 \\ \dot{\varphi}_3 \\ \dot{\varphi}_4 \\ \dot{\varphi}_5 \\ \dot{\varphi}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\cos(\varphi_1)}{6} & \frac{\cos(\varphi_2)}{6} & \frac{1}{6} & \frac{1}{6} & \frac{\cos(\varphi_3)}{6} & \frac{\cos(\varphi_4)}{6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\sin(\varphi_1)}{6} & \frac{\sin(\varphi_2)}{6} & 0 & 0 & \frac{\sin(\varphi_3)}{6} & \frac{\sin(\varphi_4)}{6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-b\cos(\varphi_1)+a\sin(\varphi_1)}{K} & \frac{b\cos(\varphi_2)+a\sin(\varphi_2)}{K} & \frac{-b}{K} & \frac{b}{K} & \frac{-b\cos(\varphi_3)-a\sin(\varphi_3)}{K} & \frac{b\cos(\varphi_4)-a\sin(\varphi_4)}{K} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ r^{-1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r^{-1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r^{-1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r^{-1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r^{-1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & r^{-1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \\ \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \\ \omega_5 \\ \omega_6 \end{bmatrix}$$

(45)

Où $\dot{q}$ est défini comme le vecteur vitesse ;φ_i désigne l'angle de la roue i

2.4 Chargement et efforts :

2.4.1 Analyse statique :

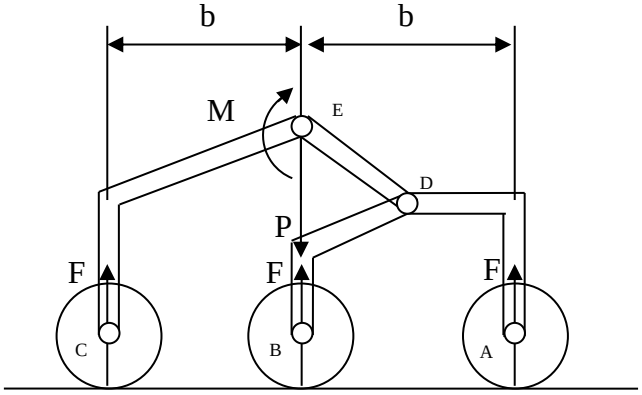


Figure 2-12: Diagramme des forces statiques

Si la suspension et symétrique, donc AD = BD et Pour cette raison, les forces de réaction des roues arrière et centrale sont identiques.

$$\sum F_i = 0 \qquad (46)$$

$$F_A + F_B + F_C - P = 0 \qquad (47)$$

$$\sum F_i = P \qquad (48)$$

Le moment au point E : si on considère les forces F_A et F_B glissées au point D :

$$F_C * b - (F_A + F_B) * {}^{b}/_{2} = 0 \qquad (49)$$

$$F_{C=} \frac{(F_A+F_B)}{2} \qquad (50)$$

Les valeurs de FA, FB et FC peuvent être utilisées pour un calcul RDM

Condition d'équilibre :

Lors d'un fonctionnement sur terrain accidenté, un autre problème est la stabilité du rover. Si un robot peut maintenir son équilibre à tout moment, on peut dire que le robot a une stabilité statique Si la projection du centre de gravité sur le plan du sol reste à l'intérieur de zone de stabilité, La stabilité du robot, stationnaire ou se déplaçant à vitesse constante, peut être définie avec une marge de stabilité gravitationnelle Cette marge est la distance minimale entre la projection du centre de gravité sur le plan du sol et le bord de la région convexe.
La pente maximale du terrain où le robot peut grimper est appelé egradebility[14].

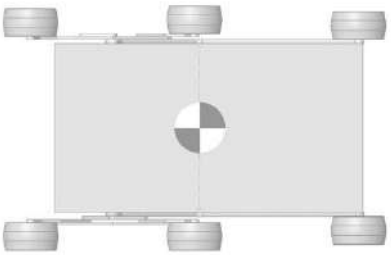


Figure 2-13:La zone de stabilité

2.4.2 **Pente de descente** :

Si α represente la pent en descente :

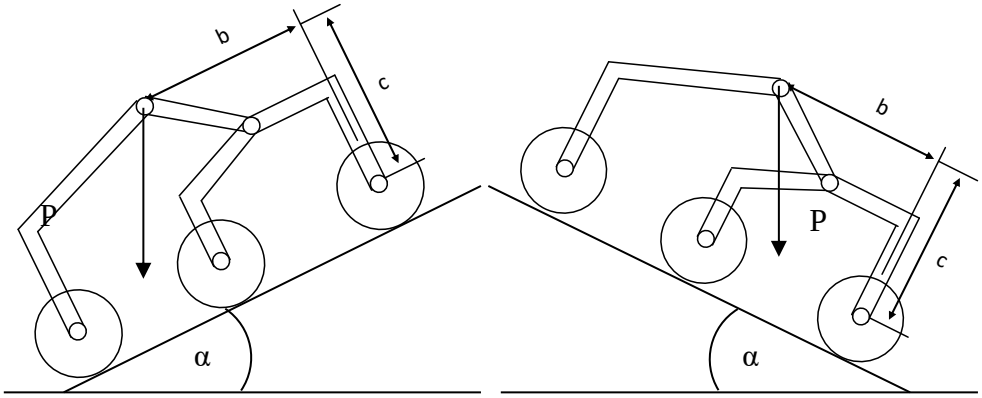


Figure 2-14:l'angle max de Pente de descente

$$\alpha_{max} = \tan^{-1}\frac{c}{b} \qquad (51)$$

2.4.3 pente laterale :

Si α’ represente la pent laterale :

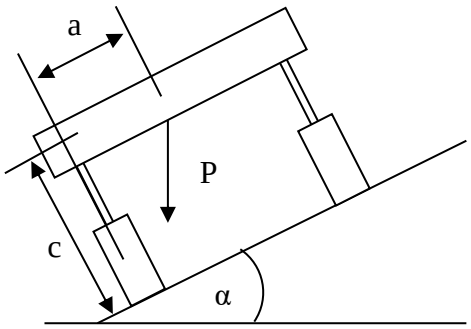


Figure 2-15: Stabilité latérale

$$\alpha'_{max} = \tan^{-1}\frac{c}{a} \qquad (52)$$

2.4.4 Représentation des forces dynamique :

Nous introduisons les hypothèses suivantes :

1) toutes les six roues sont considérées comme des roues rigides lisses, et elles ont les mêmes masses et les paramètres géométriques, il y a un contact ponctuel entre la roue et le sol,
2) par rapport au corps principal, la masse du sous-système en mouvement peut être négligée,
3) la vitesse du mobile est très faible (≤0,05 m / s),
4) aucune opération de pilotage n'est imposée au mobile.

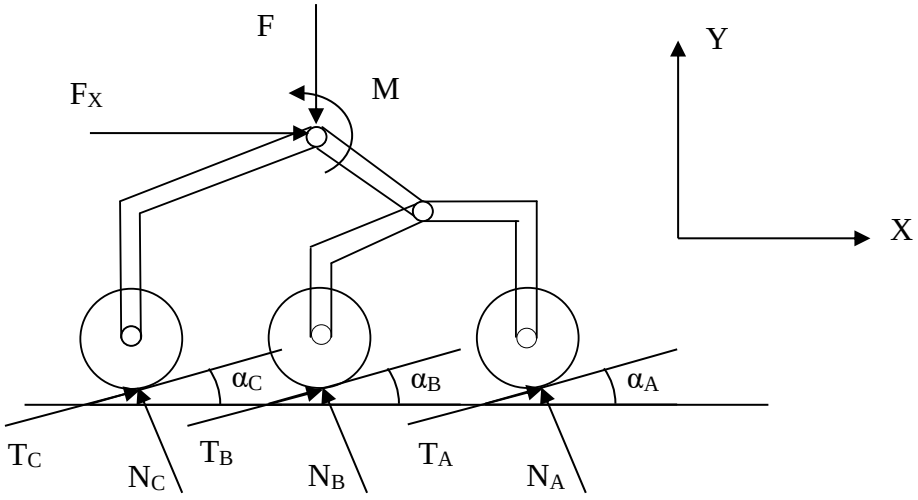


Figure 2-16:représentation des forces tangentielles et normales des points de contacte

Le mécanisme du bogie basculant est modélisé comme un système à deux dimensions. Ici, nous considérons la vue plane du rover sur un terrain accidenté, illustrée à la Fig.3. Pour le système de bogie à bascule gauche :
Pi (i = 1, 2,3) : le point de contact de la roue i, respectivement
αi (i = 1, 2,3): l'angle de la tangente au sol de la roue
Plan par rapport à l'horizon pour la roue i.
Ni (i = 1, 2,3) : force normale de la roue i

Ti (i = 1, 2,3) : force de traction tangentielle de la roue i
F_X : la force agissant sur l'articulation pivotante différentielle gauche en direction de x
F_Y : la force agissant sur l'articulation pivotante différentielle gauche en direction de y
En se référant à la Fig.3, les équations d'équilibre de force dynamique dans la direction de X et Y peuvent s'écrire[15] :

$$\sum_1^3 \begin{bmatrix} \cos\alpha_i & \sin\alpha_i \\ \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_i \\ N_I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} F_X \\ F_Y \end{bmatrix} = 0 \qquad (53)$$

D est à charnière libre et ne peut pas transmettre le couple en direction de Z. Pour analyser le culbuteur et le bogie, on prend des moments de point D et on obtient les équations d'équilibre suivantes:

$$\overrightarrow{AD}* \begin{bmatrix} sin\,\alpha_A & -cos\,\alpha_A \\ cos\,\alpha_A & sin\,\alpha_A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_A \\ N_A \end{bmatrix} + \overrightarrow{BD}* \begin{bmatrix} sin\,\alpha_B & -cos\,\alpha_B \\ cos\,\alpha_B & sin\,\alpha_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_B \\ N_B \end{bmatrix} = 0 \qquad (54)$$

$$\overrightarrow{CD}* \begin{bmatrix} \sin\alpha_C & -\cos\alpha_C \\ \cos\alpha_C & \sin\alpha_C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_C \\ N_C \end{bmatrix} + \overrightarrow{DE}* \begin{bmatrix} F_X \\ F_Y \end{bmatrix} + M = 0 \qquad (55)$$

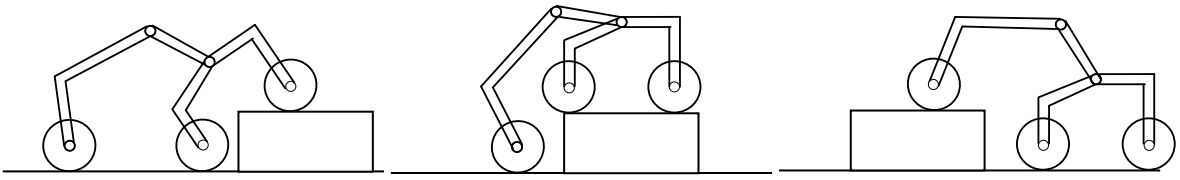


Figure 2-17:les différentes postures de la suspension

L'angle maximal de la marche :

Si h represente la hauteur de la marche :

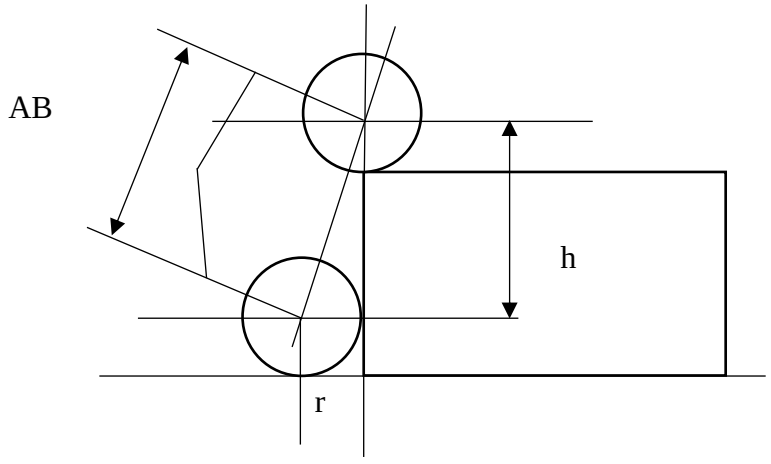


Figure 2-18: la hauteur maximale de la marche

$$h_{max} = \sqrt{AB^2 - r^2} \qquad (56)$$

2.5 Dimensionnement de robot (voir annexe A) :

	Longueur total	700 mm
	Largeur total	570 mm
1	Boitier	375mm, 220mm, 115mm
19	Roue	Diamètre 170mm, épaisseur 30mm
14	Moteur cc	100mm, 43mm, épaisseur 20mm
2	Arbre d'équilibre	360mm, 20mm

Tableau 2-2: les dimentions generale de robot

2.6 Simulation RDM :

On a fait cette simulation à l'aide de logicielle CFAO SolidWorks pour simuler les résultats ; on a appliqué une force de 50N sur le robot, on a obtenu les résultats sur les pièces suivantes :

L'axe de rotation de la suspension supérieure de Rover

L'axe de moteur CC (voir annexe A figure A-5)

L'articulation supérieure qui regroupe le rover (suspension supérieur) (voir annexe A figure A-3)

L'arbre d'équilibre (voir annexe A figure A-4)

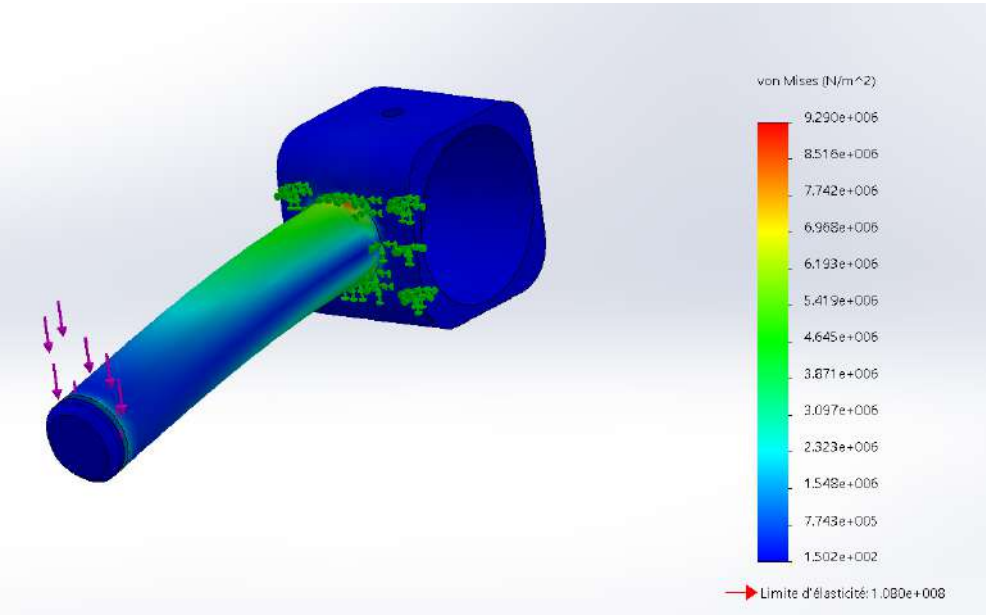


Figure 2-19: simulation de la flexion de l'axe de rotation de rover

2.7 Choix des matériaux

Choisir le bon matériau pour une application donnée est un problème complexe, qui fait intervenir différentes propriétés du matériau qu'il faut combiner au mieux : certaines doivent être maximisées (résistance, module, ténacité, etc.), d'autres au contraire minimisées (poids, coût, impact environnemental, etc.). Voire annexe A

2.8 Couple de rotation :

Pour calculer le couple des moteur CC on a les données suivantes :
U=12[V] ; I=1,6[A] (en charge)
Donc la puissance p=V*I
P=19.2 [W] ;
Et on a aussi P=C*ω,

ω=2*π*N/60=612,61[rad/s] ;
C=P/ω=19.2/612.61
C=0,0313[N.M] ;
rapport de réduction de réducteur r=0.0153 ;
donc C1/C2=r ;
C2=C1/r=0.0313/0.0153=2.046[N.m] ;
C=F*R ;
F=C/R=2.046/0.085=24.07[N]

2.9 Résultat de simulation SolidWorks :

La courbe suivante représente le déplacement linéaire de centre de gravité de l'axe supérieur de la suspension sure l'axe Y dans un terrain accidenté par rapport à une roue et l'axe inferieur de la suspension. On voit que le centre de gravité se déplace avec plus de stabilité que l'axe de rotation inferieur, et ce dernier, se déplacent plus stable que la roue. Cela veut dire que notre système est mieux adapté pour les terrains accidentés.

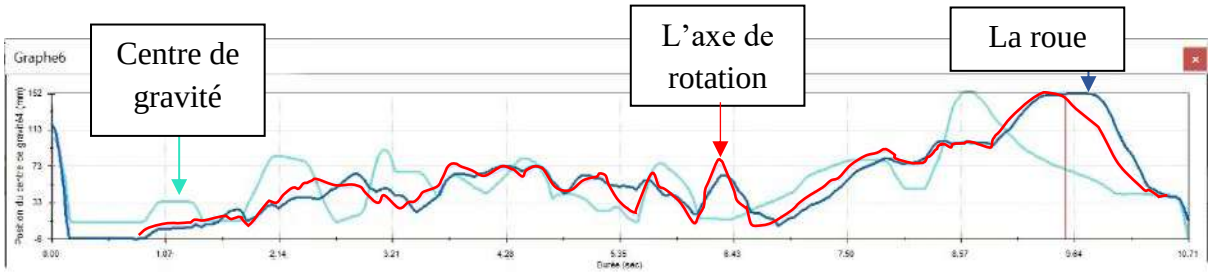


Figure 2-20:déplacement de centre de gravité par rapport à une roue et une articulation

La courbe suivante représente la vitesse linéaire de robot sur l'axe X sur un terrain accidenté ; on voit que la vitesse n'est pas fixe dans le cas d'une surface accidenté.

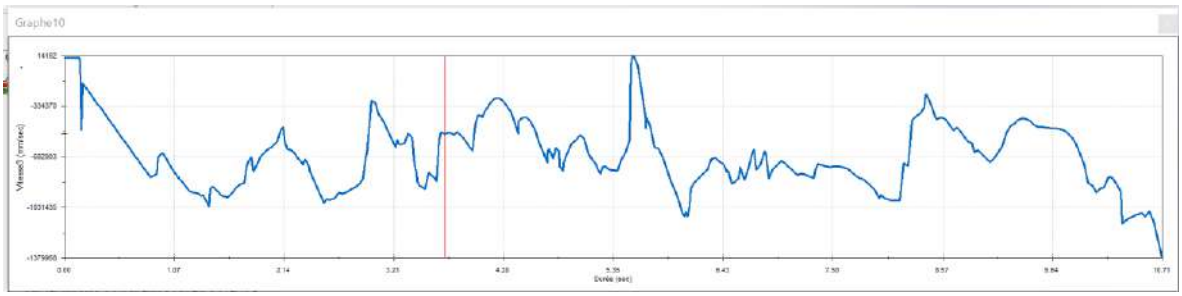


Figure 2-21 : Variation de la vitesse angulaire de centre de masse sur l'axe X

La courbe suivante représente la vitesse angulaire de boitier de robot sur l'axe Y

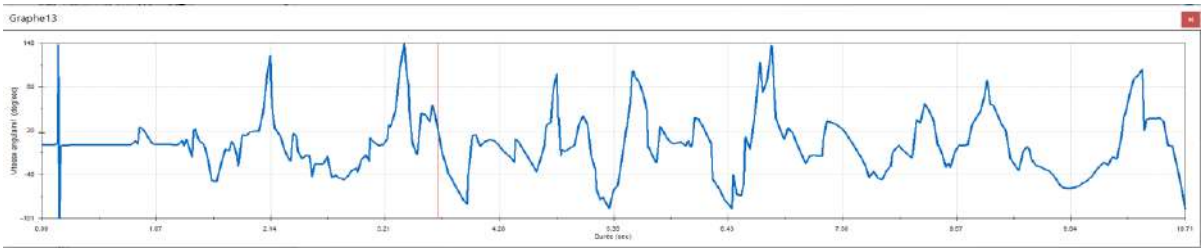


Figure 2-22:la variation de la vitesse linéaire dans un terrain accidenté sur l'axe Y

2.10 Conclusion :

Dans ce chapitre on a présenté une analyse fonctionnelle de robot qui a englobé la bête a corne, le diagramme pieuvre et le digramme Faste.

Et aussi la conception de ce dernier qui a compris une esquisse de système globale, on a effectué un choix de système de direction et on a fait les calculs cinématiques et statiques.

On fait aussi un dimensionnement, un de matériaux et on a présenté des résultats de simulation dans Solid Works.

Et d'après l'étude expérimentale on peut conclure que la suspension qu'on a choisie à une performance bonne dans les terriens accidenté et aussi dans les plans inclines jusqu'à 45

3 Chapitre 3 : Etude, conception électronique et étude expérimentale :

3.1 Introduction :

La partie électronique est la partie responsable de la mise en marche de robot et de traitement des tous les données pour établir la communication entre l'utilisateur et la machine. Dans ce chapitre on va voir :

Une description générale sur les éléments constituants le robot, les systèmes embarqués utilisées, le module et la méthode de communication, les capteurs et détecteurs implémenté et les actionneurs mise en place pour la mobilité.

Finalement, une étude expérimentale est prévue pour la réalisation et l'expérimentation des systèmes utilisée et de programme proposée.

3.2 Description de la partie électrique et électronique :

Le coté électrique et électronique est une partie essentielle dans la mise en marche du robot par les différents éléments constituants : les actionneurs, les plateformes embarquées, les module de communications, les capteurs et détecteurs et l'alimentation ; et voilà un schéma synoptique qui décrivent la constitution de robot :

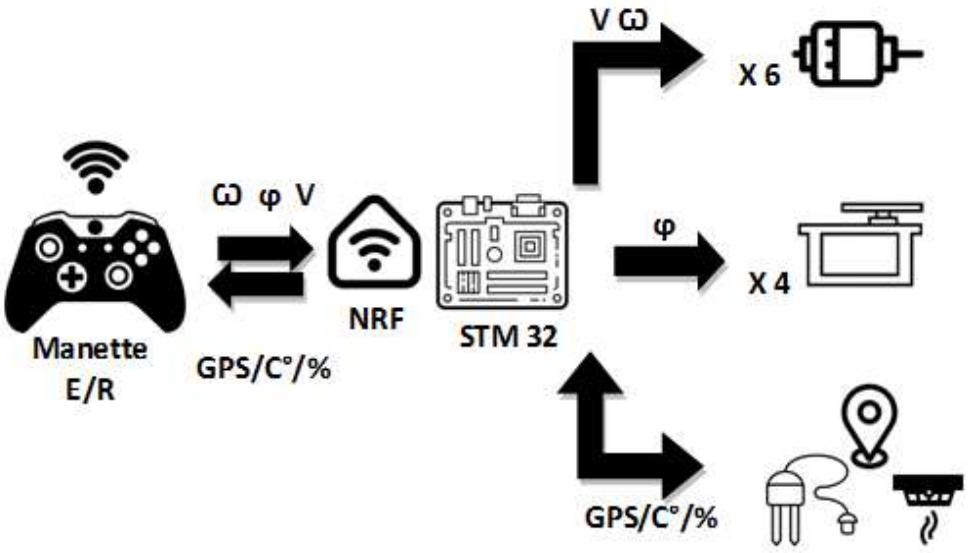


Figure 3-1: Schéma technologique de la chaine d'acquisition

3.3 Chaine d'acquisition

Le schéma de la figure 3-1 montres la chaine d'acquisition des données qui explique comment les informations (les deux angles et les vitesses) sont transférées d'une manette vers le robot à travers d'un microcontrôleur arm (STM 32) ; La commande du robot est reçue par le microcontrôleur et transmise vers les servomoteurs à travers une chaine d'acquisition, l'angle de chaque actionneur est calculé par des algorithmes et des équations mathématiques qui sont implémentés à travers l'interface d'IDE.

Le transfert de données est réalisé à l'aide de la liaison série soit par un adaptateur USB ou bien par un module NRF pour une communication de connexion série sans fil.

Finalement les actionneurs transforment l'information électrique vers une rotation mécanique de l'arbre du moteur et l'ensemble de la structure mécanique du robot se met en mouvement. Les capteurs collecte des informations, tels que les gaz (CO, fumée), la distance et les coordonnées du robot, Le microcontrôleur trait et organise les informations acquises, puis les transmettre via le NRF, à l'administrateur et l'enregistre pour des utilisations souhaitées[16].

3.4 Chaine d'information :

On peut représenter une chaine fonctionnelle de notre robot de supervision de la façon Suivante :

La figure(3-2) donne une description sure la chaine d'information de robot et les éléments responsables de l'acquisition, de traitement et transfert des informations d'un élément a un autre[11].

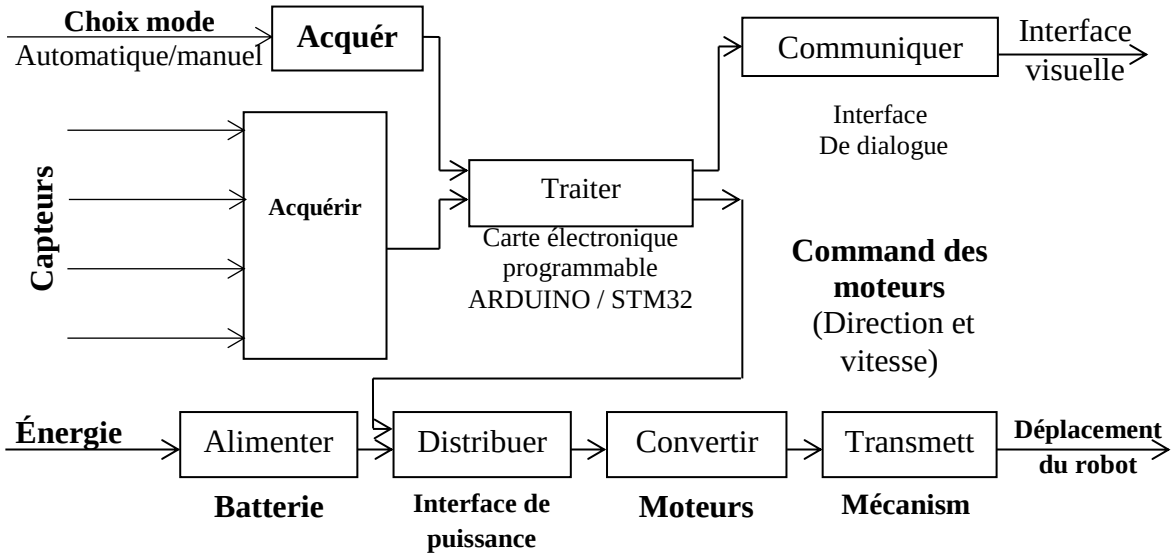


Figure 3-2:schéma de la chaine d'information

3.5 Conception des circuits électriques :

La partie électrique donne une description sur la mise en marche de robot et les différents composants nécessaires pour alimenter et commander ce dernier, on va voire :

3.5.1 Conception de la manette :

La manette est un dispositif électronique constitué de différents éléments qui sert à commander des actionneurs, recevoir où transmettre des données à distance et sans fil, les éléments constituants et le schéma électrique équivalent seront décrit dans la partie qui suit :



Figure 3-3:la manette de commande par RF

3.5.2 Carte Arduino :

Est une plate-forme électronique open source basée sur du matériel et des logiciels faciles à utiliser. Les cartes Arduino sont capables de lire des entrées - la lumière sur un capteur, un doigt sur un bouton ou un message Twitter - et de le transformer en sortie - activer un moteur, allumer une LED, publier quelque chose en ligne

Arduino Nano :

L'Arduino Nano est une petite carte complète et conviviale basée sur l'ATmega328 (Arduino Nano 3. x). Il a plus ou moins les mêmes fonctionnalités que l'Arduino UNO, mais dans un package différent. Il ne manque qu'une prise d'alimentation CC et fonctionne avec un câble USB Mini-B au lieu d'un câble standard[17].

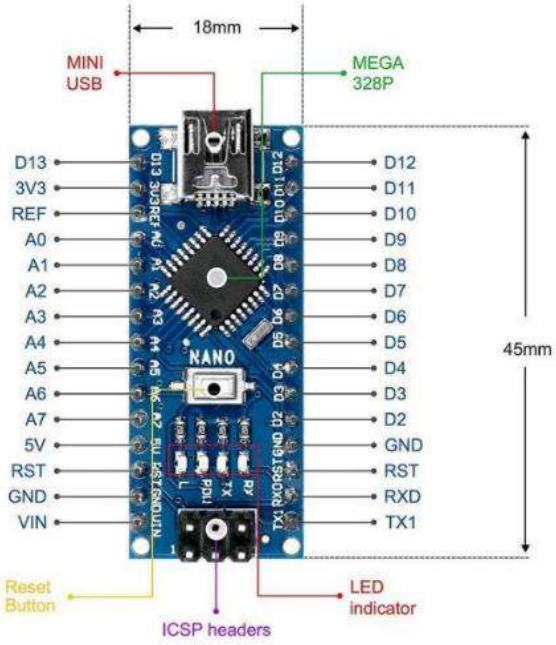


Figure 3-4: la carte de développement Arduino nano

Caractéristiques principales :

Alimentation	USB ou 5 Vcc régulée sur broche 27 ou 6 à 20 V non régulée sur broche 30
Microprocesseur	ATMega328
Mémoire flash	32 KB
Mémoire SRAM	2 KB
Mémoire EEPROM	1 KB
Broches E/S	14 broches dont 6 PWM
Entrées analogiques	8 (10 bits)
Intensité par E/S	40 mA
Cadencement	16 MHz
Communication	Bus série, I2C et SPI
Fiche USB	Mini-USB B
Boîtier	DIL30
Dimensions	45 x 18 x 18 mm

Tableau 3-1: caractéristiques de Arduino Nano

Avec gestion des interruptions.

3.5.3 Le module de Communication NRF24L01+ :

Le module nRF24L01 est un émetteur-récepteur radio mono puce pour la bande ISM mondiale 2,4 - 2,5 GHz. L'émetteur-récepteur se compose d'un synthétiseur de fréquence entièrement intégré, d'un amplificateur de puissance, d'un oscillateur à cristal, d'un démodulateur, d'un modulateur et du moteur de protocole Enhanced ShockBurst ™. La puissance de sortie, les canaux de fréquence et la configuration du protocole sont facilement programmables via une interface SPI. La consommation de courant est très faible, seulement 9,0 mA à une puissance de sortie de -6 dBm et 12,3 mA en mode RX, ce qui est encore plus faible qu'une seule LED. Les modes de mise hors tension et de veille intégrés rendent l'économie d'énergie facilement réalisable, peuvent fonctionner avec des débits en bauds de 250 kbps à 2 Mbps. S'il est utilisé dans un espace ouvert et avec un débit en bauds inférieur, sa portée peut atteindre jusqu'à 100 mètres, la tension de fonctionnement du module est de 1,9 à 3,6 V, mais la bonne chose est que les autres broches tolèrent la logique 5 V, nous pouvons donc facilement nous connecter à un Arduino sans utiliser de convertisseurs de niveau logique[18]

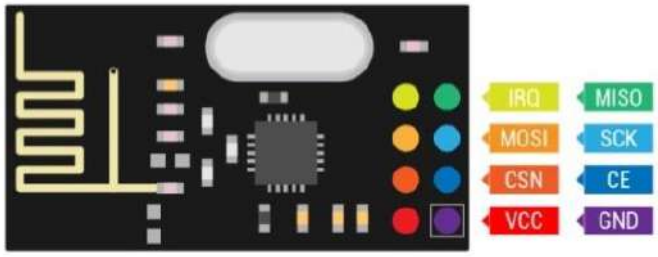


Figure 3-5:module NRF24 de transmission

Données de référence :

Paramètres	Valeurs	Unité
Tension d'alimentation minimale	1.9	V
Puissance de sortie maximale	0	dBm
Débit de données maximal	1000	Kbps
Courant d'alimentation en émission à une puissance de sortie de -5 dBm	10.5	mA
Courant d'alimentation en mode réception	18	mA
Intervalle de température	-40 a +85	°C
Sensibilité	-90	dBm
Courant d'alimentation en mode Power Down	1	µA

Tableau 3-2: Données de références

Emetteur :

Broches d'interface MCU, CE, CLK1, DATA

1. Lorsque le MCU d'application a des données à envoyer, réglez CE haut. Cela active le traitement de données embarqué RF2401.
2. L'adresse du nœud récepteur (adresse RX) et les données utiles sont Cadencé dans le nRF2401. Le protocole d'application ou MCU définit la vitesse <1Mbps (ex: 10kbps).
3. Le MCU définit CE bas, ce qui active une transmission nRF2401 ShockBurst ™.
4. nRF2401 ShockBurst ™:

• Le frontal RF est alimenté
• Le package RF est terminé (préambule ajouté, CRC calculé)
• Les données sont transmises à haute vitesse (250 kbps ou 1 Mbps configuré par utilisateur).
• nRF2401 retour en veille une fois terminé[18].

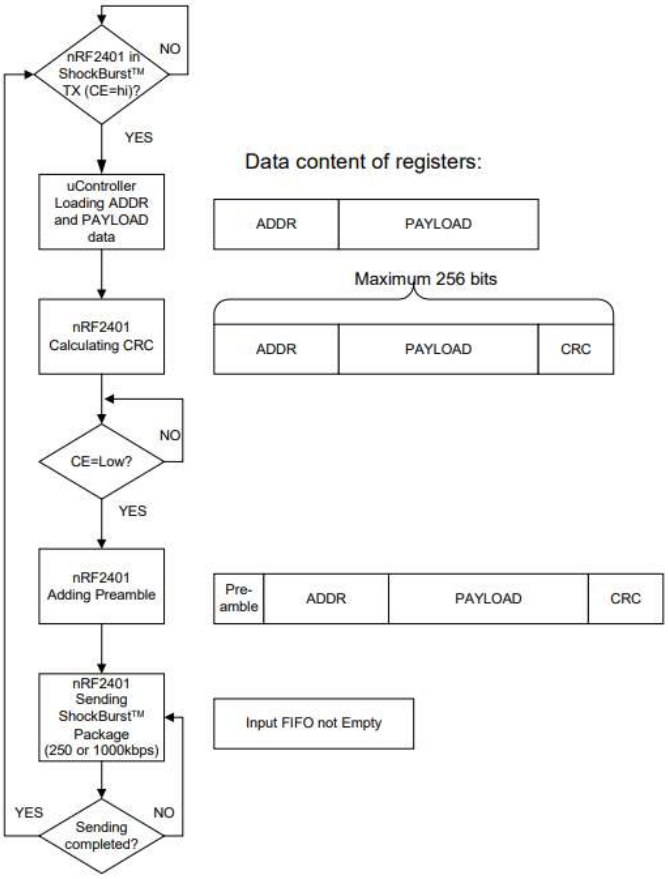


Figure 3-6:organigramme du mode récepteur

Récepteur :

Broches d'interface MCU: CE, DR1, CLK1 et DATA (réception d'un canal RX)

1. L'adresse correcte et la taille de la charge utile des paquets RF entrants sont définies lorsque le nRF2401 est configuré sur ShockBurst ™ RX.
2. Pour activer RX, réglez CE haut.
3. Après 200 µs de stabilisation, le nRF2401 surveille l'air pour la communication entrante.
4. Lorsqu'un paquet valide a été reçu (adresse correcte et CRC trouvés), nRF2401 supprime le préambule, l'adresse et les bits CRC.
5. Le nRF2401 notifie (interrompt) ensuite le MCU en réglant la broche DR1 à un niveau élevé.
6. Le microcontrôleur peut (ou non) régler le CE bas pour désactiver le frontal RF (mode courant faible).
7. Le MCU synchronisera uniquement les données de charge utile à un taux approprié (par exemple, 10 kbps).
8. Lorsque toutes les données utiles sont récupérées, le nRF2401 redéfinit DR1 et est prêt pour le nouveau package de données entrantes si CE est maintenu élevé pendant les données Télécharger.

Si la CE a été réglé bas, une nouvelle séquence de démarrage peut commencer[18].

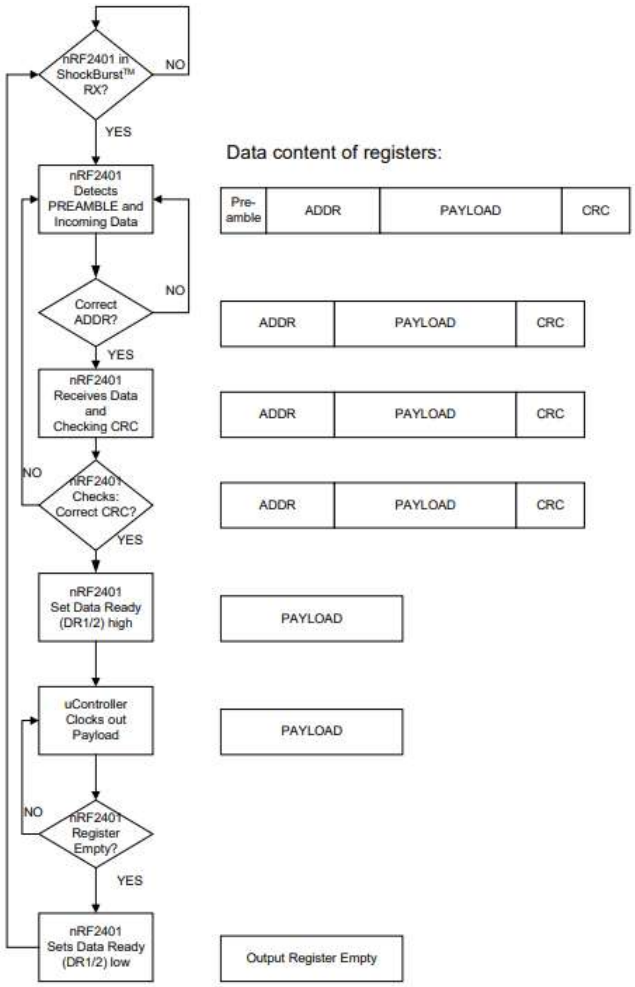


Figure 3-7: organigramme du mode transmision

3.5.4 Afficheur graphique OLED :

Un écran OLED fonctionne sans rétro-éclairage car il crée sa propre lumière. C'est pourquoi l'écran présente un contraste élevé, un angle de vision extrêmement large et peut afficher des niveaux de noir profonds. L'absence de rétroéclairage réduit considérablement la puissance requise pour faire fonctionner l'OLED. En moyenne, l'écran utilise un courant d'environ 20 mA, bien que cela dépend de la quantité d'éclairage allumée.

La tension de fonctionnement du contrôleur SSD1306 est de 1,65 V à 3,3 V tandis que le panneau OLED nécessite une tension d'alimentation de 7 V à 15 V. Toutes ces différentes exigences de puissance sont suffisantes en utilisant un circuit de pompe de charge interne. Cela permet de le connecter facilement à un Arduino ou à n'importe quel microcontrôleur logique 5V sans utiliser de convertisseur de niveau logique.

Quelle que soit la taille du module OLED, le pilote SSD1306 dispose d'une mémoire RAM de données d'affichage graphique (GDDRAM) intégrée de 1 Ko pour l'écran qui contient le motif de bits à afficher. Cette zone mémoire 1K est organisée en 8 pages (de 0 à 7). Chaque page contient 128 colonnes / segments (blocs 0 à 127). Et chaque colonne peut stocker 8 bits de données (de 0 à 7). Cela nous dit sûrement que nous avons

8 pages x 128 segments x 8 bits de données = 8192 bits = 1024 octets = 1 Ko de mémoire[19].

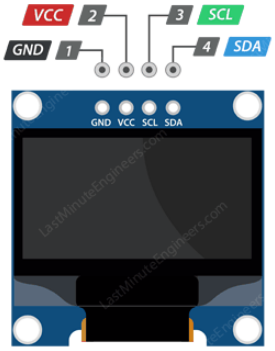


Figure 3-8 : afficheur graphique OLED

3.5.5 Alimentation :

Pour l'alimentation de la manette on a utilisé une batterie 9V avec un circuit présenté dans le schéma ci-dessous, on donne la description suivante :

L'utilisation d'un régulateur ajustable de tension « LM317 » nous donne la possibilité de choisir la tension de sortie qui convient avec une résistance ajustable d'après la relation:

$$V_{out} = V_{ref} * (1 + {}^{R_2}/_{R_1}) + I_{ajus} * R_2$$

Avec V_{ref} = 1.25V ; on impose R_1=1.2kΩ ; I_{ajus} = 50µA



Figure 3-9: batterie de 9V

3.5.6 Le schéma global de la manette :

La figure B-7 présente le schéma final qui regroupe tous les éléments constitutifs de la manette et le brochage de chaque élément. Voir annexe B page 81

3.6 Conception électronique de robot :

3.6.1 STM32 :

Le STM32 est une famille de circuits intégrés de microcontrôleur basés sur les cœurs RISC ARM Cortex-M33F, Cortex-M7F, Cortex-M4F, Cortex-M3, Cortex-M0 + et Cortex-M0 32 bits. [1] STMicroelectronics concède une licence pour le processeur ARM IP à ARM

Holdings. Les conceptions principales d'ARM ont de nombreuses options configurables, et ST choisit la configuration individuelle à utiliser pour chaque conception. ST attache ses propres périphériques au noyau avant de convertir la conception en une puce en silicium. Les titres suivants résument les familles de microcontrôleurs STM32.

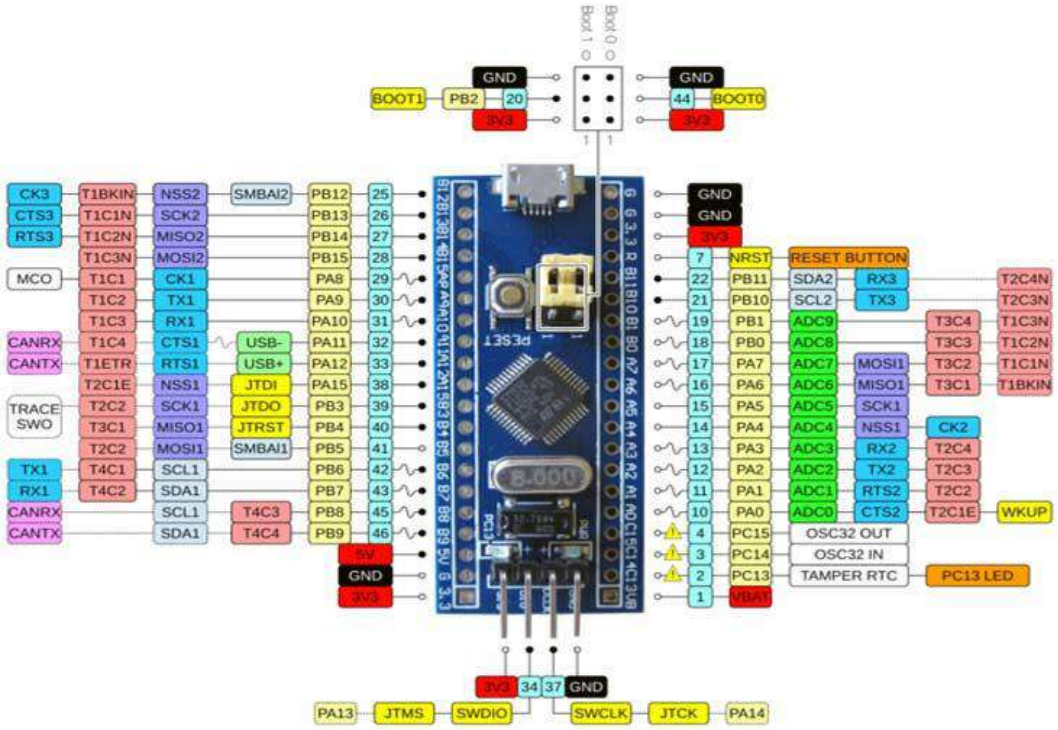


Figure 3-10: carte de développement STM32F103C8T6

3.6.1.1 Caractéristiques principales :

Noyau : processeur ARM Cortex ™ -M3 32 bits
- 72 MHz, 90 DMIPS avec 1,25 DMIPS / MHz
- Multiplication monocycle et division hardware
- Contrôleur d'interruption imbriqué avec 43 canaux d'interruption masquables
- Traitement d'interruption (jusqu'à 6 cycles CPU) avec chaînage en queue

3.6.1.2 Mémoire :

- 32 à 128 Ko de mémoire Flash
- 6 à 20 kilo-octets de SRAM

3.6.1.3 Horloge, réinitialisation et gestion d'alimentation :

- Alimentation d'application et E / S de 2,0 à 3,6 V
- POR, PDR et détecteur de tension programmable (PVD)
- Oscillateur à quartz 4 à 16 MHz
- RC interne 8 MHz préajusté
- RC interne 32 kHz
- PLL pour horloge CPU
- Oscillateur dédié 32 kHz pour RTC avec étalonnage

3.6.1.4 Horloge, réinitialisation et gestion des approvisionnements :

- Alimentation d'application et E / S de 2,0 à 3,6 V
- POR, PDR et détecteur de tension programmable (PVD)
- Oscillateur à quartz 4 à 16 MHz
- RC interne 8 MHz ajusté en usine
- RC interne 32 kHz
- PLL pour horloge CPU
- Oscillateur dédié 32 kHz pour RTC avec étalonnage

3.6.1.5 Faible puissance :

- Modes veille, arrêt et veille

–Alimentation VBAT pour RTC et registres de sauvegarde

3.6.1.6 2 convertisseurs A / N 12 bits, 1 µs (16 canaux) :

- Plage de conversion : 0 à 3,6 V
- Capacité de double échantillonnage et de maintien
- Synchronisable avec minuterie de contrôle avancée
- Capteur de température

3.6.1.7 DMA (direct memory Access):

- Contrôleur DMA 7 canaux
- Périphériques pris en charge : minuteries, ADC, SPI, I2C et USART

3.6.1.8 Mode débogage :

- Interfaces de débogage de câble série (SWD) et JTAG

3.6.1.9 Jusqu'à 80 ports d'E/S rapides :

- 32/49/80 5 E/S tolérantes au V
- Tous mappables sur 16 vecteurs d'interruption externes
- Opérations atomiques de lecture / modification / écriture

Jusqu'à 7 minuteries :

- Jusqu'à trois temporisateurs 16 bits, chacun avec jusqu'à 4 IC / OC / PWM ou compteur d'impulsions
- Minuterie de contrôle avancé 16 bits, 6 canaux : jusqu'à 6 canaux pour la sortie PWM Génération de temps mort et arrêt d'urgence
- 2 minuteries de surveillance 16 bits (indépendant et fenêtre)
- Minuterie SysTick : un décompteur 24 bits

3.6.1.10 Jusqu'à 9 interfaces de communication :

- Jusqu'à 2 interfaces I2C (SMBus / PMBus)
- Jusqu'à 3 USART (interface ISO 7816, LIN, capacité IrDA, contrôle par modem)
- Jusqu'à 2 SPI (18 Mbit / s)
- Interface CAN (2.0B actif)
- Interface USB 2.0 pleine vitesse

3.7 Actionneurs

Un actionneur comme le moteur est un dispositif qui transforme l'énergie qui lui est fournie en énergie mécanique sous forme de travail, l'actionneur appartient à la partie opérative d'un système automatisé.



Figure 3-11:moteur à cc avec reducteur a vis sans fin

3.7.1 Moteur DC :

Une machine à courant continu) est un convertisseur électromécanique ou est électrique. Permettant la conversion bidirectionnelle d'énergie entre une installation électrique parcourue par un courant continu et un dispositif mécanique, Pour piloter la tension aux bornes d'un moteur à courant continu, il est possible d'utiliser un relais ou un pont en H.

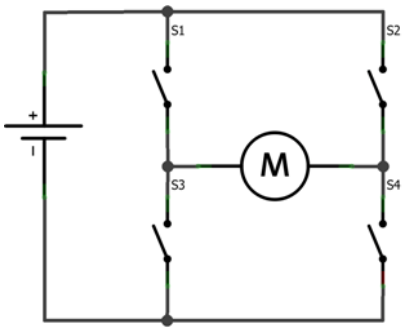


Figure 3-12: schéma électrique de pont H

3.7.2 Pont H :

Le pont en H transmet la puissance électrique au moteur et module la tension en fonction des commandes de la carte Arduino. Il peut être représenté par quatre interrupteurs qui vont diriger le courant en fonction des commandes de la carte et moduler la direction et la vitesse de rotation du moteur.

3.7.2.1 le principe de fonctionnement d'un pont H :

Le pont en H peut être symbolisé par une structure à quatre interrupteurs ouverts au repos Dans ce cas, la tension aux bornes du moteur est nulle. Pour mettre en rotation le moteur il suffit de fermer un couple d'interrupteurs et de laisser les deux autres au repos. Le moteur est donc alimenté avec la tension UM=VCC. Pour modifier le sens de rotation, il suffit de permuter le couple d'interrupteurs fermés et ouverts. On aura donc UM= - VCC.

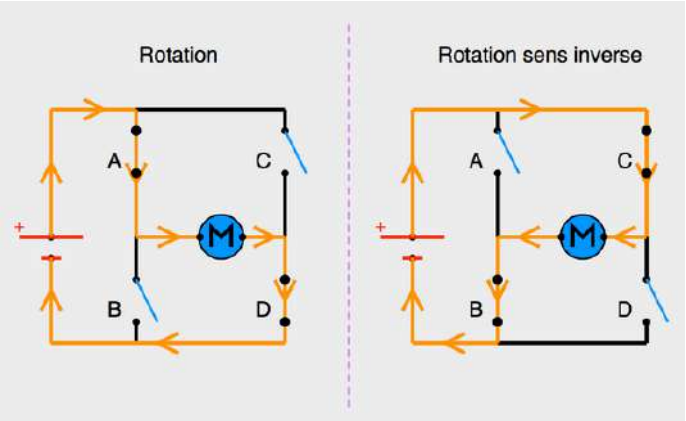


Figure 3-13: schéma électrique de fonctionnement de pont H

Caractéristiques Pont H :

Tension	5V, tension maximal 110V
Courant	0-7A
Puissance Maximale	770W
Dimensions	40 x 40 x 20mm

Tableau 3-3:caractéristiques de pilot du moteur cc

3.7.2.2 Brochage du moteur cc avec le module de pont H :

Le module de pont H est commandé par deux broches pour les deux sens, voire annexe B

3.7.3 Servomoteur :

Un servomoteur est un moteur capable de maintenir une opposition à un effort statique et dont la position est vérifiée en continu et corrigée en fonction de la mesure.

Le fonctionnement interne d'un servomoteur :

Un petit circuit électronique permet de contrôler un moteur à courant continu en fonction de la position d'un potentiomètre intégré au servomoteur. La sortie du moteur à courant continu est reliée mécaniquement à une série d'engrenages qui augmente la force (le couple) du servomoteur en réduisant la vitesse de rotation de celui-ci. Quand le moteur tourne, les engrenages s'animent, le bras bouge et entraine avec lui le potentiomètre. Le circuit électronique ajuste continuellement la vitesse du moteur pour que le potentiomètre (et par extension le bras) reste toujours au même endroit.

Il suffit de donner une consigne au servomoteur ("reste à 45°" par exemple) et le servomoteur fera son maximum pour rester au plus près de cette consigne Cette consigne est transmise au moyen d'un signal numérique, d'une impulsion pour être précis.

Pour que le servomoteur reste à une position donnée, il faut transmettre toutes les 20 millisecondes (soit à une fréquence de 50Hz) une impulsion d'une longueur comprise entre 1 et 2 millisecondes.

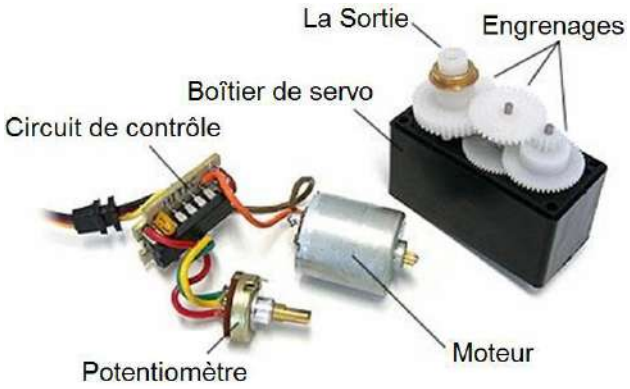


Figure 3-14: Les constituants d'un servomoteur

1. Une impulsion de 1 milliseconde correspond à un angle de 0°.
2. Une impulsion de 2 millisecondes correspond à un angle de 180°.
3. En envoyant une impulsion d'une longueur intermédiaire, on obtient des angles différents, 90° avec une impulsion de 1.5 milliseconde par exemple.

Caractéristique :

Poids	55 g
Dimension	40,7 x 19,7 x 42,9 mm environ.
Couple de décrochage	9,4 kgf · cm (4,8 V), 11 kgf · cm (6 V)
Vitesse de fonctionnement	0,17 s / 60º (4,8 V), 0,14 s / 60º (6 V)
Tension de fonctionnement	4,8 V à 7,2 V
Courant de fonctionnement	500 mA - 900 mA (6 V)
Courant de décrochage	2,5 A (6 V)
Largeur de bande morte	5 µs
Plage de température	0 ºC - 55 ºC

Tableau 3-4: caractéristique servomoteur

-avec conception à double roulement à billes stable et antichoc.

3.8 Capteurs et détecteurs :

Un capteur est une partie de la chaîne de mesure, il reçoit la grandeur à mesurer (physique en général) et fournit une information (logique, numérique ou analogique) directement liée à cette grandeur. Dans un capteur on aura donc deux éléments indispensables (parfois confondus). Système qui sert à détecter, sous forme de signal souvent électrique, un phénomène physique afin de le représenter.

3.8.1 NEO-6M GPS Module :

Au cœur du module se trouve une puce GPS NEO-6M d'u-blox. La puce mesure moins que la taille d'un timbre-poste mais intègre une quantité surprenante de fonctionnalités dans son petit cadre.

Il peut suivre jusqu'à 22 satellites sur 50 canaux et atteint le plus haut niveau de sensibilité de l'industrie, à savoir un suivi de -161 dB, tout en ne consommant que 45 mA de courant d'alimentation.

Contrairement à d'autres modules GPS, il peut effectuer jusqu'à 5 mises à jour de position par seconde avec une précision de position horizontale de 2,5 m. Le moteur de positionnement u-blox 6 possède également un Time-To-First-Fix (TTFF) inférieur à 1 seconde.
L'une des meilleures fonctionnalités de la puce est le mode d'économie d'énergie (PSM). Il permet une réduction de la consommation d'énergie du système en allumant et éteignant de manière sélective certaines parties du récepteur. Cela réduit considérablement la consommation d'énergie du module à seulement 11 mA, ce qui le rend approprié pour les applications sensibles à l'énergie comme la montre-bracelet GPS.

Les broches de données nécessaires de la puce GPS NEO-6M sont réparties en en-têtes de pas de 0,1 ". Cela comprend les broches requises pour la communication avec un microcontrôleur via UART. Le module prend en charge le débit en bauds de 4800 bps à 230 400 bps avec une band par défaut de 9600[20].

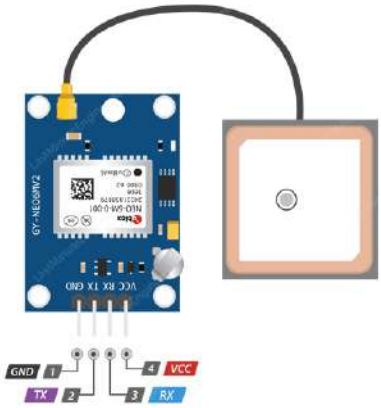


Figure 3-15: module de capteur NEO-6M GPS

Voilà les spécifications complètes :

Paramètres		Valeurs	Unité
Type de récepteur		50 Canaux, GPS L1(1575.42Mhz)	
Précision de la position horizontale		2.5	m
Taux de mise à jour de la navigation		1~5max	HZ
Temps de capture	Démarrage à froid	27	s
	Démarrage à chaud	1	s
Sensibilité à la navigation		-161	dBm
Protocole de communication		NMEA, UBX binaire, RTCM	
Débit en bauds série		4800-230400 (default 9600)	
Température de fonctionnement		-40 ~ 85	°C
Tension de fonctionnement		2.7 ~ 3.6	V
Courant de fonctionnement		45	mA
Impédance TXD / RXD		510	510Ω

Tableau 3-5:spécifications de Module NEO-6M GPS

3.8.2 Capteur à ultrasons HC-SR04

Tout commence, lorsqu'une impulsion d'au moins 10 µS (10 microsecondes) de durée est appliquée à la broche de déclenchement. En réponse à cela, le capteur transmet une salve sonore de huit impulsions à 40 KHz. Ce motif à 8 impulsions rend la « signature ultrasonique » de l'appareil unique, permettant au récepteur de différencier le motif transmis du bruit ultrasonique ambiant.

Les huit impulsions ultrasonores voyagent dans l'air loin de l'émetteur. Pendant ce temps, la broche Echo passe à HIGH pour commencer à former le début du signal de retour d'écho.

Dans le cas, si ces impulsions ne sont pas réfléchies, le signal d'écho expirera après 38 ms (38 millisecondes) et reviendra bas. Ainsi, une impulsion de 38 mS n'indique aucune obstruction dans la plage du capteur.

Si ces impulsions sont réfléchies, la broche Echo devient faible dès que le signal est reçu. Cela produit une impulsion dont la largeur varie entre 150 µS et 25 mS, en fonction du temps nécessaire au signal pour être reçu[21].



Figure 3-16:module de capteur ultrason HC-SR04

Voici les spécifications complètes :

Paramètres	Valeurs	Unité
Tension de fonctionnement	DC 5	V
Courant de fonctionnement	15	mA
Fréquence de fonctionnement	40	KHz
Portée max	4	m
Plage minimale	2	cm
Précision de télémétrie	3	mm
Angle de mesure	15	degrés
Signal d'entrée de déclenchement	Impulsion TTL 10	µS
Dimension	45 x 20 x 15	mm

Tableau 3-6:spécifications de capteur ultrason HC-SR04

3.8.3 Capteur de gaz / fumée MQ2

MQ2 est l'un des capteurs de gaz couramment utilisés dans la série de capteurs MQ. Il s'agit d'un capteur de gaz de type semi-conducteur à oxyde métallique (MOS) également connu sous le nom de chimirésistors car la détection est basée sur le changement de résistance du matériau de détection lorsque le gaz entre en contact avec le matériau. À l'aide d'un simple réseau de diviseurs de tension, les concentrations de gaz peuvent être détectées.

Le capteur de gaz MQ2 fonctionne sur 5 V CC et consomme environ 800 mW. Il peut détecter les concentrations de GPL, de fumée, d'alcool, de propane, d'hydrogène, de méthane et de monoxyde de carbone de 200 à 10000 ppm[22].



Figure 3-17:module de capteur de gaz MQ2

Voici les spécifications complètes :

Paramètre	Valeur	Unité
Tension de fonctionnement	5	V
Résistance de charge	20	KΩ
Résistance de chauffage	33 ± 5%	Ω
Consommation de chauffage	<800	mW
Résistance de détection	10 - 60	KΩ
Portée de concentration	200 - 10000	Ppm
Temps de préchauffage	+24	Heures

Tableau 3-7: spécifications de cateur de gaz MQ2

3.8.4 Alimentation :

Il est prévu l'utilisation d'Une batterie de 12V qui sera mise en place pour alimenter le robot avec deux régulateurs de tension ; le premier de 3V3 pour la plateforme embarquée stm32 et le deuxième de 5V pour les modules des capteurs utilisées comme le schéma globale ci-dessous indique.

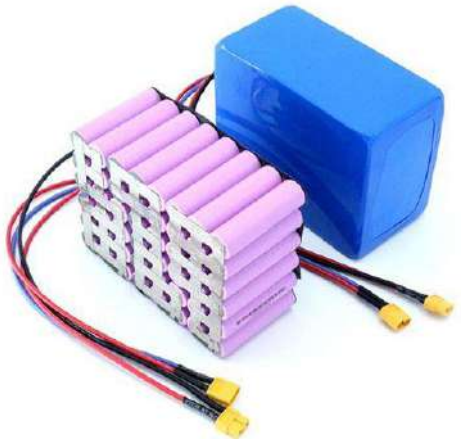


Figure 3-18: batterie 12V lithium rechargeable

3.8.5 Brochage de module NRF24, servomoteurs, le pont H et les capteurs avec le microcontrôleur :

Figure (B-8)Voire annexe B page 82

3.9 Command :

3.9.1 Plateforme de programmation :

L'environnement de programmation Arduino (IDE en anglais) est une application écrite en Java inspirée du langage Processing. L'IDE permet d'écrire, de modifier un programme et de le convertir en une série d'instructions compréhensibles pour la carte[1]

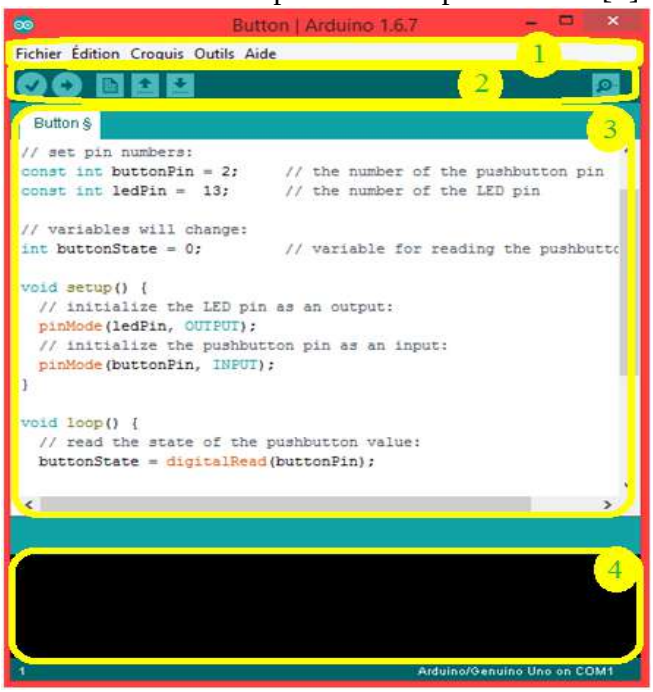


Figure 3-19: l'interface d'Arduino IDE

1. Le cadre numéro 1 : options de configuration du logiciel.
2. Le cadre numéro 2 : il contient les boutons qui vont nous servir lorsque l'on va programmer nos cartes.

3. Le cadre numéro 3 : ce bloc va contenir le programme que nous allons créer.
4. Le cadre numéro 4 : celui-ci est important, car il va nous aider à corriger les fautes dans notre programme. C'est le débogueur.

Les boutons :



Figure 3-20 la barre d'outils de l'IDE

Voyons à présent à quoi servent les boutons, encadrés en jaune et numérotés par le Chiffre 2.

1. Vérifiée le programme.
2. Compile le code et exporte le programme dans le microcontrôleur.
3. Création d'un nouveau fichier.
4. Ouverture d'un fichier.
5. Sauvegarde le fichier.
6. Ouvre le moniteur série.

3.9.2 Programmation de la manette :

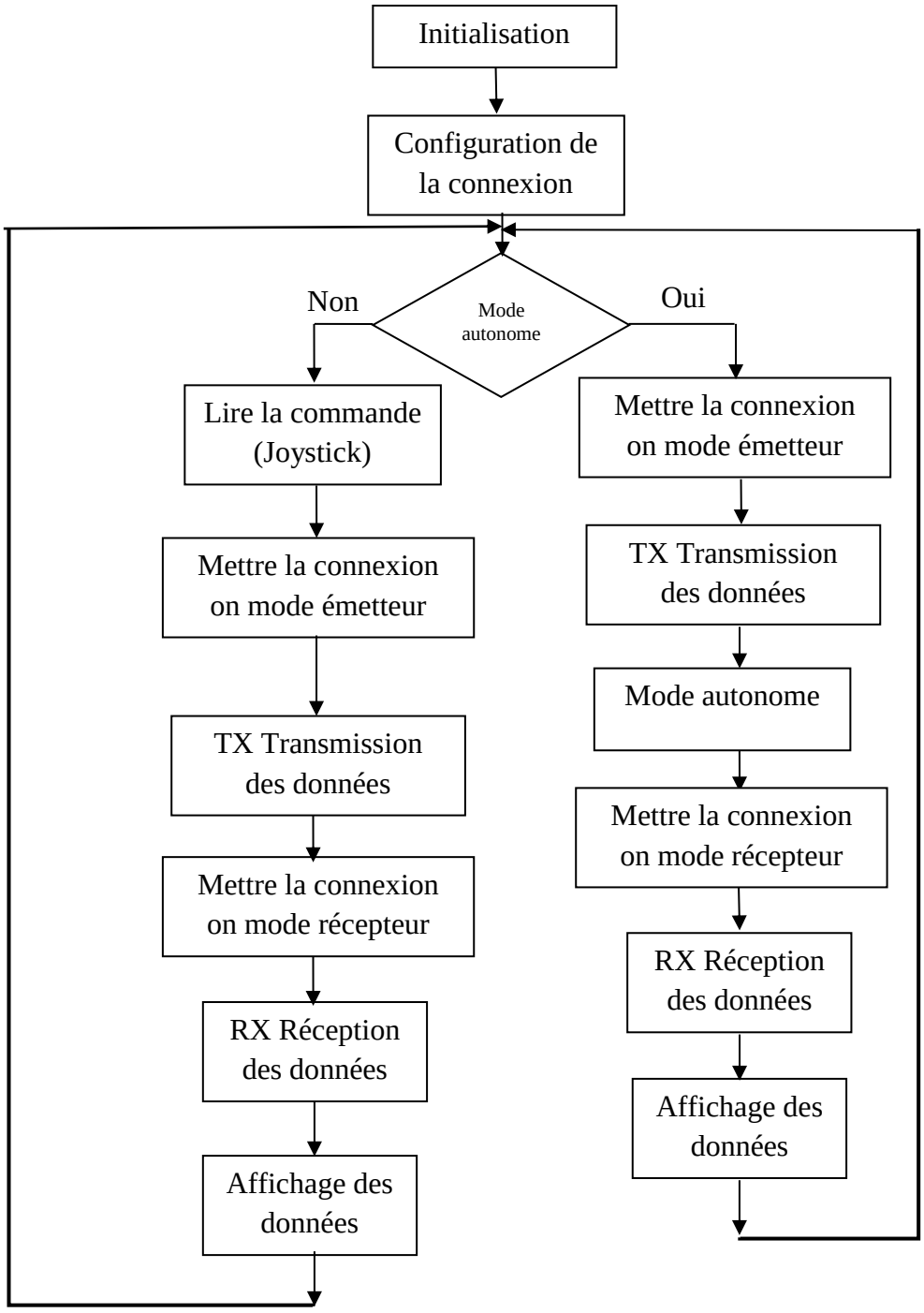


Figure 3-21: Organigramme de fonctionnement de la manette

La manette est utilisée pour commander le robot et communiquer avec lui pour recevoir les informations fournis par les capteurs, pour cela il faut la programmer pour être capable à transmettre et recevoir les informations et les données l'organigramme suivant décrit le fonctionnement du programme :

3.9.2.1 Configuration de la connexion NRF24LO1+ :

On a utilisé la bibliothèque RF24 (crée par TRMH20).

- Choix de l'adresse de module.
- Définition de la vitesse de communication.
- Sélection de chaine de communication.

3.9.2.2 Le protocole de communication de NRF ShockBurst amélioré :



Ce module radio fréquence utilise une structure de paquet connu sous le nom ShockBurst amélioré. Cette structure des paquets est divisées en cinq champs différents qui sont illustrés ci-dessous [18]:

3.9.2.2.1 Préambule :

Le préambule c'est une séquence de bits utilisé pour détecter les niveaux 0 et 1 dans le récepteur. Il est un octet de long et il est soit 01010101 soit 10101010. Ceci est fait pour s'assurer qu'il y a suffisamment de transitions dans le préambule pour stabiliser le récepteur.

3.9.2.2.2 Adresse :

C'est l'adresse du récepteur, cette adresse est pour reçue par le bon récepteur. Il peu le configurer la taille d'adresse dans le registre pour être 3, 4 ou 5 octets.

3.9.2.2.3 Champ de contrôle des paquets :

Le champ de contrôle des paquets contient 6 bits pour Payload, et 2 bits pour l'Identification des paquets et 1 bit pour le drapeau NO_ACK.



3.9.2.2.4 Charge utile (Payload) :

Payload est l'information brute de l'utilisateur. Il peut être de 0 à 32 octets

3.9.2.2.5 CRC :

Contrôle de redondance cyclique, est un code pour détecter si l'information est endommagée.

3.9.2.3 Choix de mode de commande :

On lit la commande d'après l'interrupteur par une condition : si 1 = automatique ; si 0 = manuelle.

3.9.2.4 Lecture des données :

Lire la commande du joystick et la mettre dans une enveloppe ; pour envelopper les données on les regroupe dans une variable de type structure.

3.9.2.5 Transmission des données :

D'abord, on met le module en mode émetteur. Après, on envoi la commande.

3.9.2.6 La réception et l'affichage des données :

On met le module en mode récepteur. Ensuite, on reçoit les informations. De plus, on extrait et on sépare ces informations. Enfin, on affiche les informations sur un afficheur OLED.

Pour le mode automatique le même cycle se répète automatiquement sauf la lecture de commande.

3.9.3 Programmation de robot :

Le programme de robot est devisé en deux parties :

La première partie présente la commande manuelle qui consiste à donner la commande au robot directement via la manette : la vitesse et la direction et recevoir les informations des capteurs sur un afficheur.

La deuxième partie présente la commande automatique qui consiste à donner au robot des taches prédéfini : la trajectoire à suivre et avec le capteur GPS il va toujours vérifier sa position par rapport à la trajectoire donnée et aussi éviter les obstacles à l'aide de capteur ultrason.

3.9.3.1 Configuration de la connexion NRF24LO1+ :

- On a utilisé la bibliothèque RF24 (crée par TRMH20).
- Choix de l'adresse de module.
- Définition de la vitesse de communication.
- Sélection de chaine de communication.
- Configuration comme récepteur.
- Réception de la donnée de choix de mode.

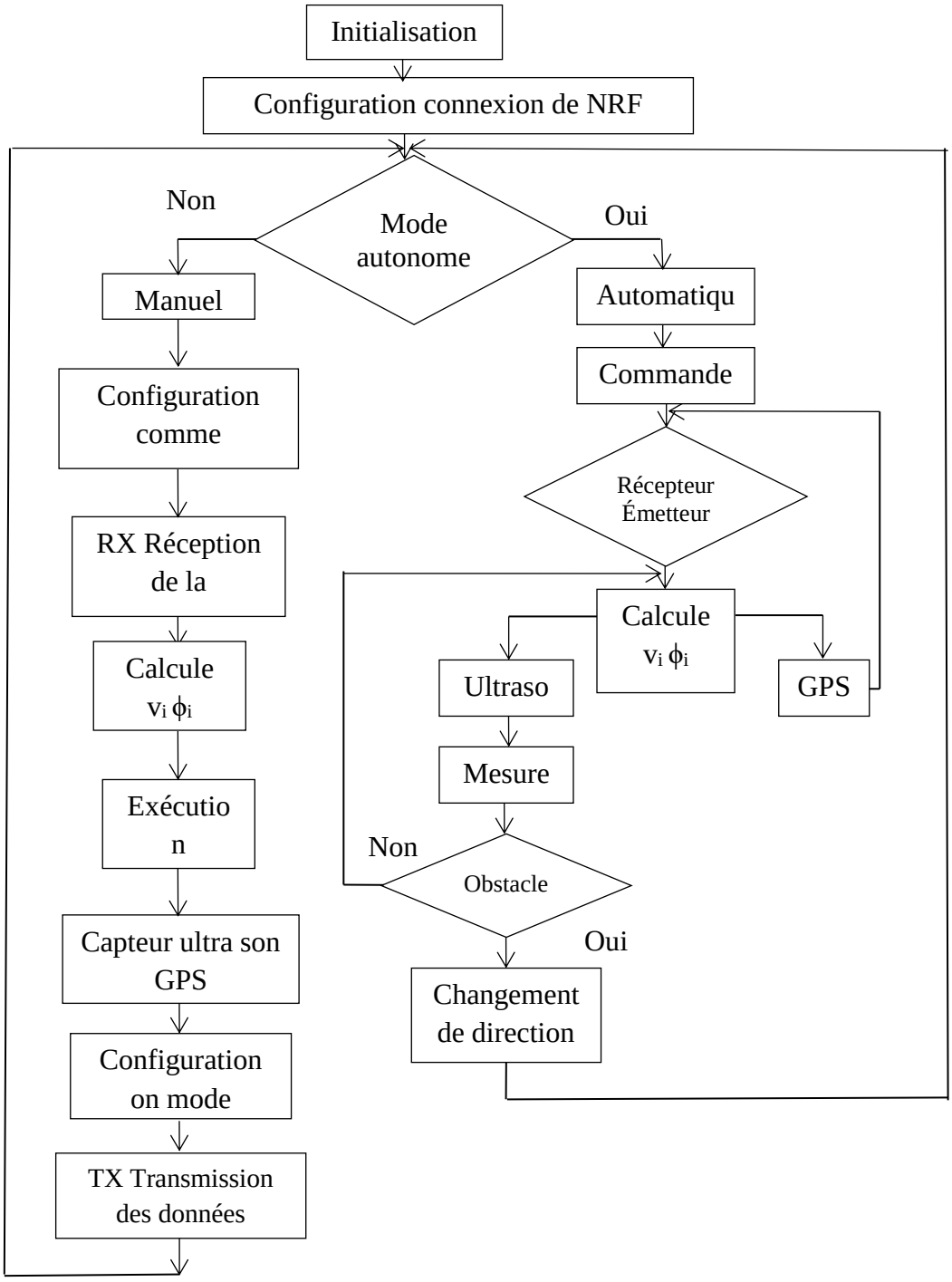


Figure 3-22: Organigramme de la commande de robot

3.9.3.2 La première partie (mode manuelle) :

D'abord, Réception des données de la commande (la vitesse, l'angle). Ensuite, exécution de la commande. Après, acquisition des informations des capteurs (GPS, ultrason, capteur de gaz). Enfin, transmission des informations vers la manette.

3.9.3.3 La deuxième partie (mode automatique) :

D'abord, implémentation directe de la commande sur le robot (la trajectoire). Ensuite, traitement et exécution de la commande. De plus, détection des obstacles et tentation de les

éviter. Après, acquisition des informations des capteurs (GPS, ultrason, capteur de gaz). Enfin, transmission des informations vers la manette.
L'organigramme de la figure (3-22) donne une description générale sur les deux parties de la commande

3.9.3.4 Commande en Vitesse

Toutes les charges alimentées sous une tension continue voient leur puissance varier lorsque l'ont fait varier leur tension d'alimentation ou plus exactement la valeur moyenne de cette dernière. Pour la commande de la vitesse des moteurs CC au lieu de varier leur tension on utilise une solution beaucoup plus performante qui consiste à faire appel à des signaux PWM qui est constitués par des impulsions à fréquence fixe, d'amplitude égale à la tension d'alimentation totale mais de rapport cyclique réglable en fonction de la vitesse désirée. Lorsque les signaux ont un rapport cyclique très faible la valeur moyenne de tension correspondante et aussi très faible. Lorsque ce rapport cyclique est égal à 50% c'est encore les états hauts et bas des impulsions ont la même duré la valeur moyenne de tension et égale a la moitié de l'amplitude totale des impulsions. Les moteurs ont alors une vitesse moyenne. Enfin lorsque le rapport cyclique des impulsions est proche de 100% la valeur moyenne est proche de la tension d'alimentation totale et la vitesse des moteurs est maximale[23].

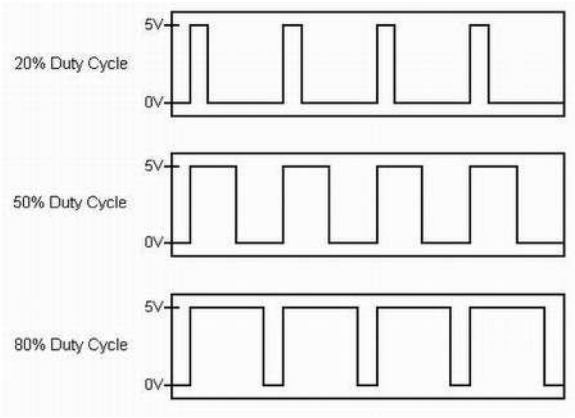


Figure 3-23: la commande en vitesse par la technique PWM

3.9.3.5 Direction Command en position :

La commande en position se fait par le servomoteur motionner dans la partie actionneur il prend sa commande sous forme d'impulsion codé en largeur la figure ci-dessous montre le principe de codage de ces impulsions :
Notez tous d'abord que ces impulsions doivent se répéter à un rythme de 10 à 20 ms d'écart entre deux impulsions successives[23].

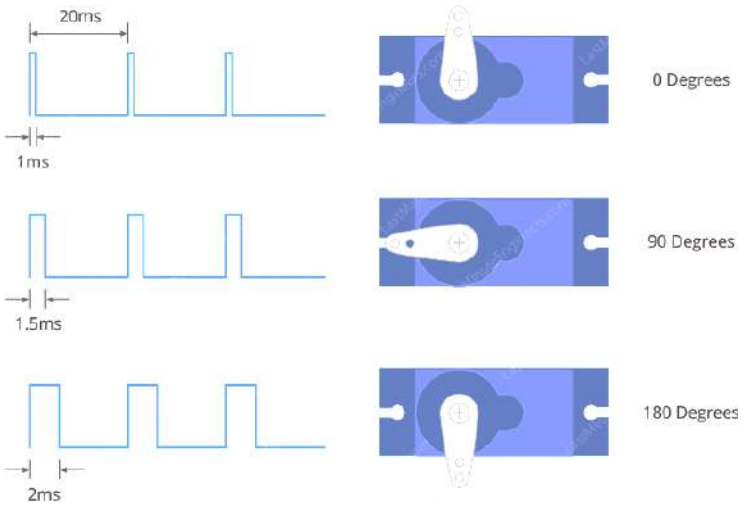


Figure 3-24: commande de position par système bouclé de servomoteur

3.10 Etude expérimental :

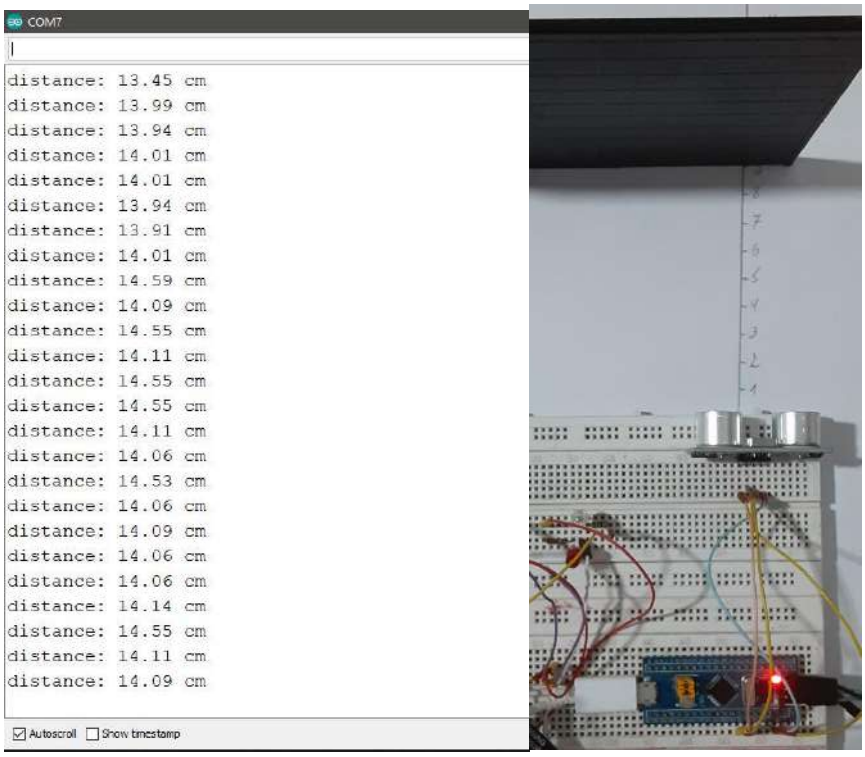


Figure 3-25:mesure de distance et affichage dans le moniteur série

3.9.4 Expérience de mesure de la distance avec le capteur HC-SR04 :

3.9.5 Expérience de mesure de la concentration de gaz avec le capteur MQ2 :

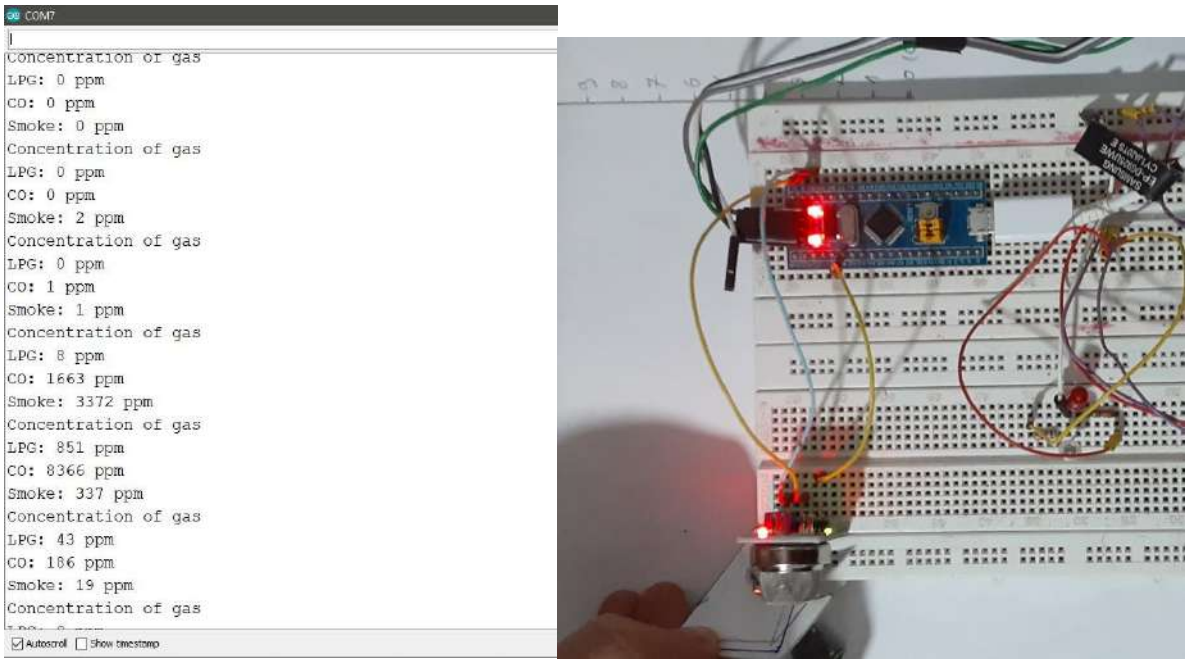


Figure 3-26: mesure de la concentration de gaz avec MQ2

3.9.6 Expérience de mesure de position par le module de NEO-6M GPS :

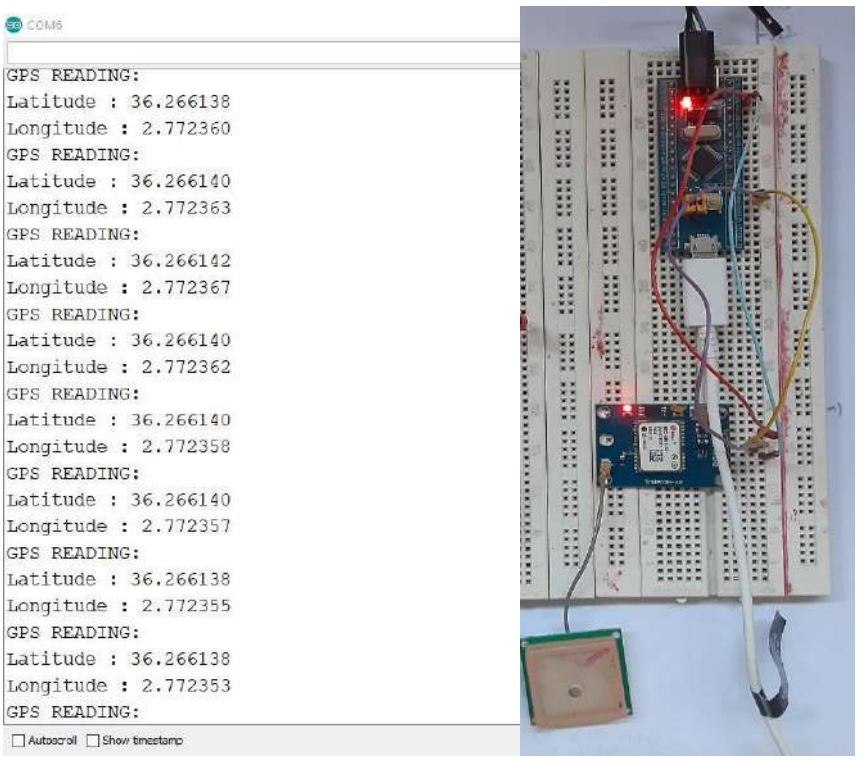


Figure 3-27: expérience de mesure de position par le capteur NEO-6M

3.9.7 Expérience de l'affichage des données avec l'afficheur OLED :



Figure 3-28: expérience de l'affichage des informations dans la manette

3.9.7.1 experience de mise en marche des moteurs avec la manette :

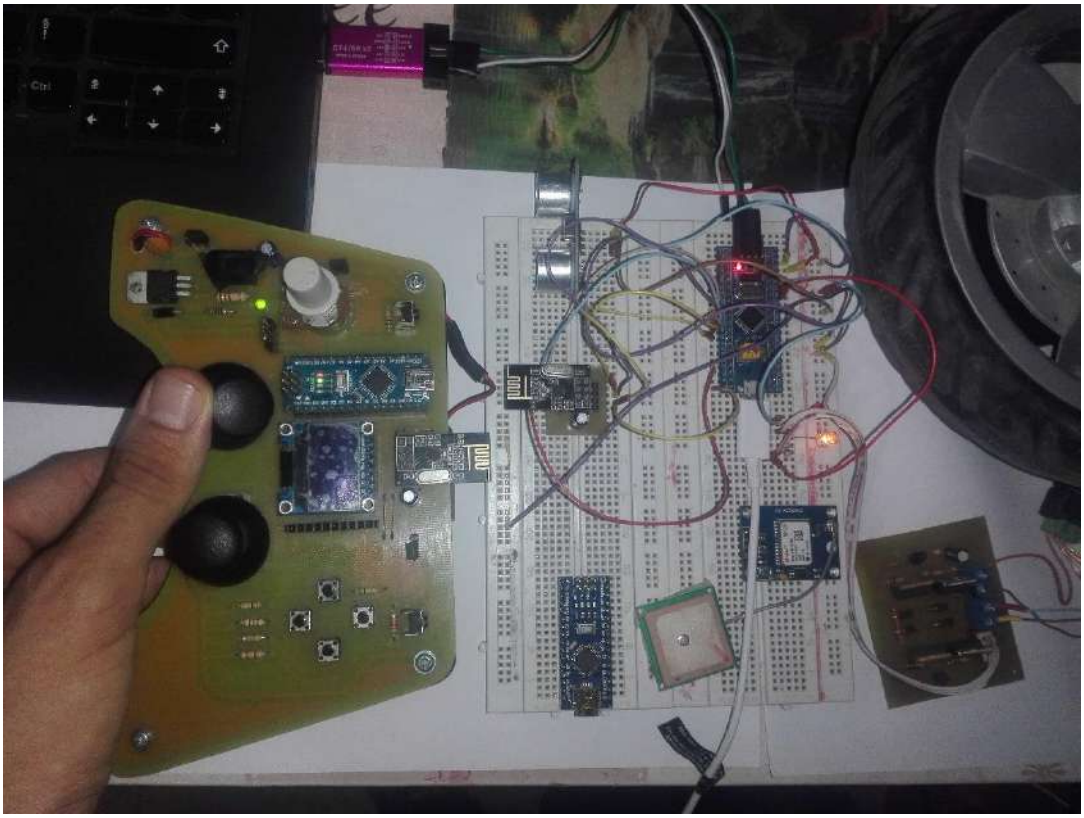


Figure 3-29: experience de commande des moteurs avce la manette

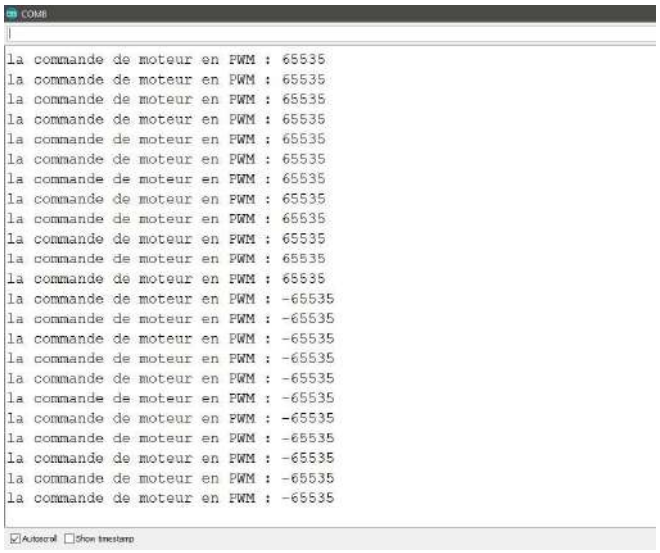


Figure 3-30: l'affichage de la commande numérique des moteurs dans le moniteur serie

3.11 Conclusion et perspective :

On a présenté dans ce chapitre :
Une description générale sur la conception électronique de robot et sur la chaine d'information.
La conception électrique du circuit électronique et une définition de tous les éléments nécessaires au fonctionnement du robot
La méthode de communication entre le robot et la manette et le protocole responsable sur cette opération.
La commande utilisée pour manipuler la manette et aussi pour la mise en œuvre du robot l'acquisition des données et l'affichage sur la manette.
Finalement, une étude expérimentale pour tester le fonctionnement de tous les éléments réalisé.
Notre perspective et d'ajouter un autre capteur :
Capteur d'humidité du sol :
Le fonctionnement du capteur d'humidité du sol est assez simple, La sonde en forme de fourche avec deux conducteurs exposés, agit comme une résistance variable (tout comme un potentiomètre) dont la résistance varie en fonction de la teneur en eau du sol. Cette résistance est inversement proportionnelle à l'humidité du sol :
Le plus d'eau dans le sol signifie une meilleure conductivité et se traduira par une résistance plus faible. Moins d'eau dans le sol signifie une mauvaise conductivité et se traduira par une résistance plus élevée. Le capteur produit une tension de sortie en fonction de la résistance, qui en mesurant, nous pouvons déterminer le niveau d'humidité. Pour créer une bonne base de données qui va nous aider à bien géré les ressources et améliorer le rendement de travail

Conclusion générale et recommandation :

Par ce modeste travail, nous avons pu atteindre la plupart de nos objectifs fixés, à savoir : L'étude mécanique de ce projet qui comprend la proposition de l'esquisse de la suspension et le système de direction qui repend à la problématique posée, avec l'étude cinématique et statique de robot, ainsi que l'étude de la résistance des matériaux qui vont être utilisé pour dimensionner le robot. L'étude touche aussi la simulation complète de ce dernier vis-à-vis de sa stabilité, sa cinétique, en plus de la simulation RDM des différents composants de robot.

La réalisation c'est limité à la manette de contrôle, les pilots des moteurs, la programmation des différents systèmes embarqués et les capteurs.

Le choix de certains éléments disponibles sur le marché avec les caractéristiques adaptés à nos besoins et la combinaison de deux cartes électroniques Arduino nano et STM32F103, nous ont permis de développer une petite plateforme capable de commander tous type de robot à six roues à condition d'avoir accès aux entrées des moteurs qu'ils soient à courant continue ou servomoteur.

De plus, cette plateforme a été conçue pour être facilement modifiée ou s'adapter à la tache robotique à réaliser en rajoutant ou en retirant des capteurs.

En effet, l'atout majeur de cette carte et la simplicité avec laquelle elle peut recevoir et traiter les données fournit par les capteurs (ultrason, capteur gaz, GPS) et gérer la commande des actionneurs avec l'établissement de la communication sans fil.

Par ailleurs, l'utilisation de la carte STM32 dans l'asservissement de notre robot mobile a permis de démontrer ses performances en termes de puissance de calcul, de mémoire et de connectivité (USB, NRF…).

Enfin, ce travail nous a permis d'aborder les différentes problématiques inhérentes à la robotique mobile : la commande en vitesse, la commande en position, la communication sans fil et l'acquisition des données.

Notre perspective et de rendre le robot autonome : ajouter une caméra pour le traitement d'image, ajouter plus de capteurs et mettre un dispositif standard de communication (comme I2C) pour l'extension et l'adaptation de robot aux besoins. Cela nécessite la conception des modules additifs pour chaque besoin : irrigation, plantation …
Chaque tache a un module dédiée et une option préprogrammée.

Bibliographie

[1] M. amine DJEDDOU and A. raouf TOUATI, “Conception et analyse d’un robot SCARA,” 2002.

[2] E. Riadh and M. Mohamed, “Etude, conception et réalisation d’un robot mobile auto-balance,” YAHIYA FARES, 2019.

[3] Technovhugogassinc, “differents-domaines-d-application-de-la-robotique-actuelle.” https://sites.google.com/site/technovhugogassinc31dg1/differents-domaines-d-application-de-la-robotique-actuelle.

[4] Ensat, “la-robotique-dans-l-agriculture.” http://www.ensat.fr/fr/ensat/ateliers-du-developpement-durable/la-robotique-dans-l-agriculture.html.

[5] F. Harvey, “Robot farmers are the future of agriculture, says government,” *Theguardian*, 2014.

[6] “Product,” *Harvest Automation*, 2016. https://www.public.harvestai.com/.

[7] D. Jenkins, “Agriculture shock: How robot farmers will take over our fields.” .

[8] S. Chhaniyara *et al.*, “Terrain trafficability analysis and soil mechanical property identification for planetary rovers: A survey,” *J. Terramechanics*, vol. 49, no. 2, pp. 115–128, 2012, doi: 10.1016/j.jterra.2012.01.001.

[9] D. Lhomme-desages, “Commande d ’ un robot mobile rapide à roues non directionnelles sur sol naturel,” 2008.

[10] D. Zhang and B. Wei, *Robotics and mechatronics for agriculture*. 2017.

[11] B. Mohammed, “Filière d ’ Ingénieur Génie Electrique Projet de Développement et de Prototypage Réel d ’ un Système Relevant du Génie Electrique Semestre 4 Réalisé par Mr . AIT MELLAL Ismail Encadré par Prof . ZAZI Malika Sous le thème ROBOT SUPERVISEUR : Soutenue le 15,” no. 0, 2016.

[12] I. L. Roor I, “modelling and dynamic analysis of rocker-bogie rover for space exploration a dissertation master of technology in mechanical engineering (with specialization in cad/cam 8 robotics) pushpendra kumar,” vol. 667, 2010.

[13] M.-H. Lee and T.-H. S. Li, “Kinematics, dynamics and control design of 4WIS4WID mobile robots,” *J. Eng.*, vol. 2015, no. 1, pp. 6–16, 2015, doi: 10.1049/joe.2014.0241.

[14] F. Barlas, “Design of a Mars Rover Suspension Mechanism,” p. 93, 2004.

[15] K. F. Gu and G. Y. Yang, “A Judgment Criterion of Crossing Obstacle Ability for Lunar Rover with Track Angle,” *Adv. Eng. Forum*, vol. 2–3, no. January, pp. 384–389, 2011, doi: 10.4028/www.scientific.net/aef.2-3.384.

[16] M. B. Ayoub and M. S. M. El Hachem, “ÉTUDE, CONCEPTION ET REALISATION D’UN ROBOT SERIE 5 AXES,” 2007.

[17] Arduino.cc, “arduino nano,” https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoNano.

[18] N. Simicondutor, “Preliminary Product Specification v1.0,” no. March, pp. 1–75,

2008,https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Pluss_Preliminary_Product_Specification_v1_0.pdf.

[19] Lastminuteengineers, “afficheur OLED,” 2020, https://lastminuteengineers.com/oled-display-arduino-tutorial/.

[20] Lastminuteengineers, “GPS module,” 2020. https://lastminuteengineers.com/neo6m-gps-arduino-tutorial/.

[21] Lastminuteengineers, “ultrasonique sensor,” 2020,https://lastminuteengineers.com/arduino-sr04-ultrasonic-sensor-tutorial/.

[22] lastminuteengineers, “MQ2,” 2020. https://lastminuteengineers.com/mq2-gas-senser-arduino-tutorial/.

[23] C. Tavernier, “Arduino - Maîtrisez sa programmation et ses cartes d’interface (shields).” p. 227, 2014, http://univ.scholarvox.com/reader/docid/88819313.

Annexe

Annexe A

Les dessines de définitions des pièces de robot et le dessine d’assemblage



Figure A-1: modèle assemblé de robot

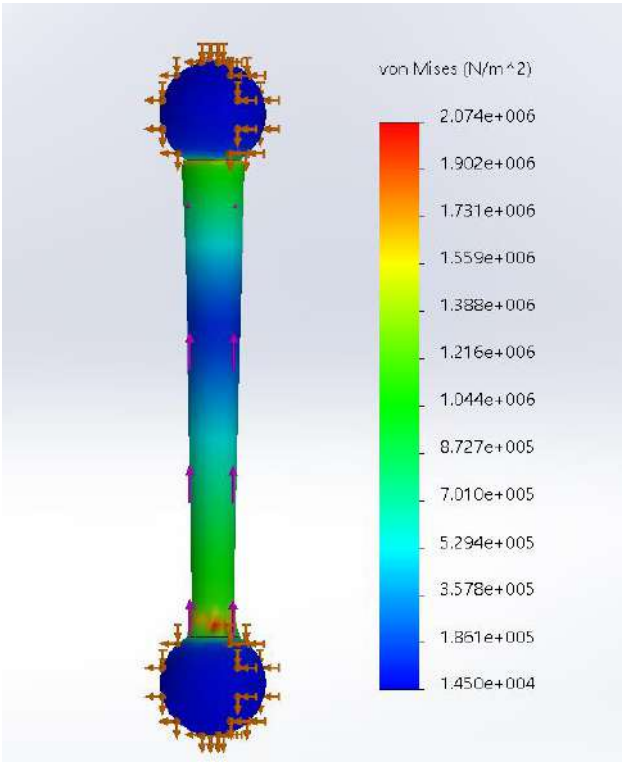


Figure A-2: calcul RDM de guide d'équilibre

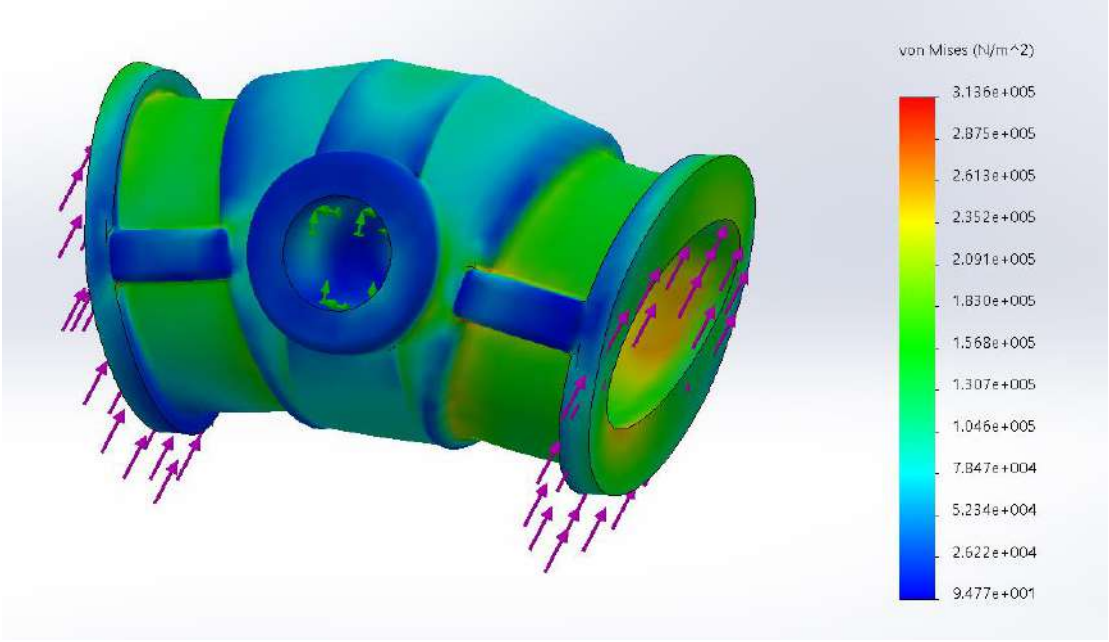


Figure A-3: calcul RDM de l'articulation de rover

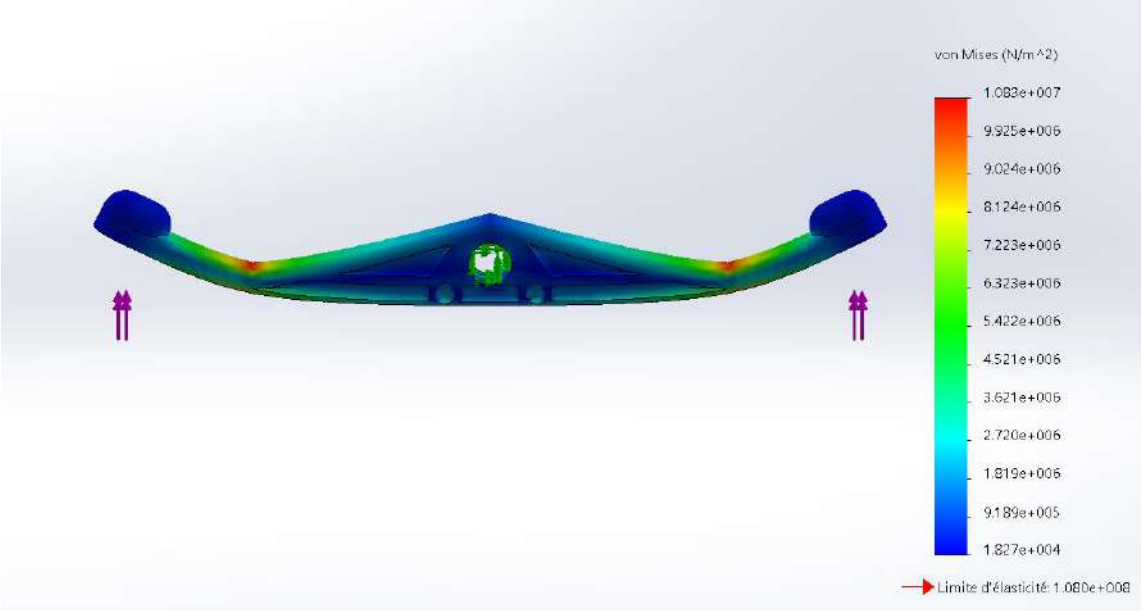


Figure A-4: calcul RDM de l'arbre d'équilibre

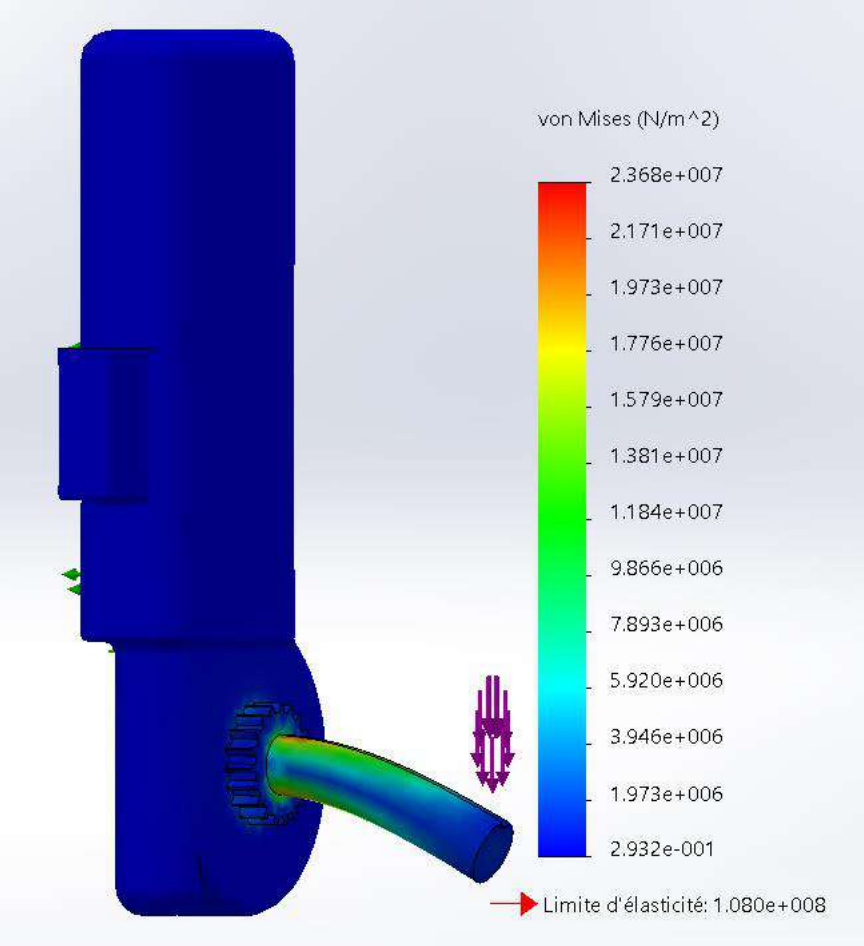


Figure A-5: calcul RDM de l'arbre de moteur

Annexe

Annexe B :

Les schémas electriques :

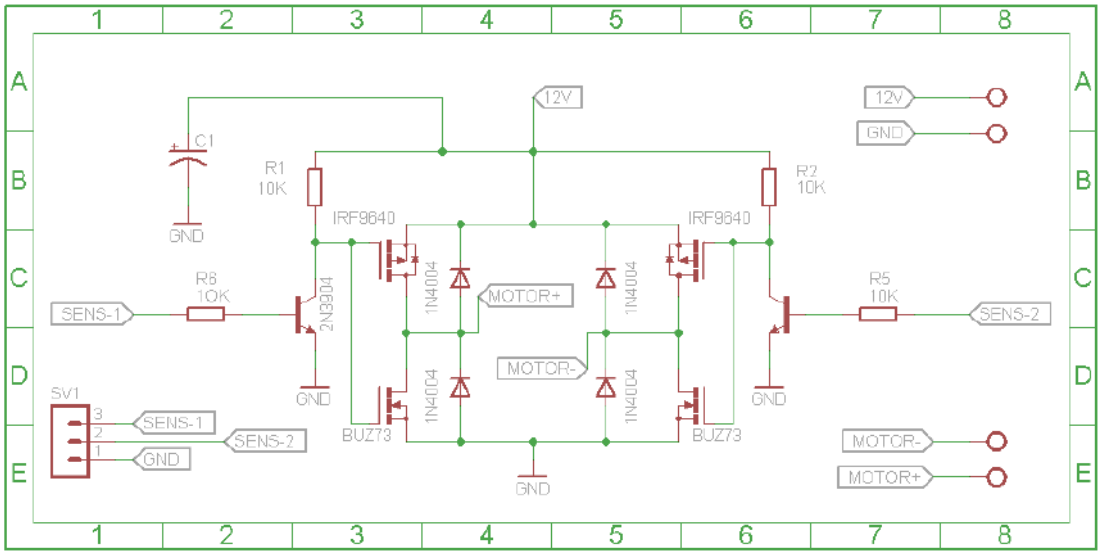


Figure B-6: schéma electrique de module de pont H

Les composants :

- Transistors NPN 2N3904
- 2 mosfets N-Channel BUZ73
- 2 mosfets P-Channel IRF9640
- 4 résistances 10kΩ
- 4 diode 1N4004
- condensateur 47μF²

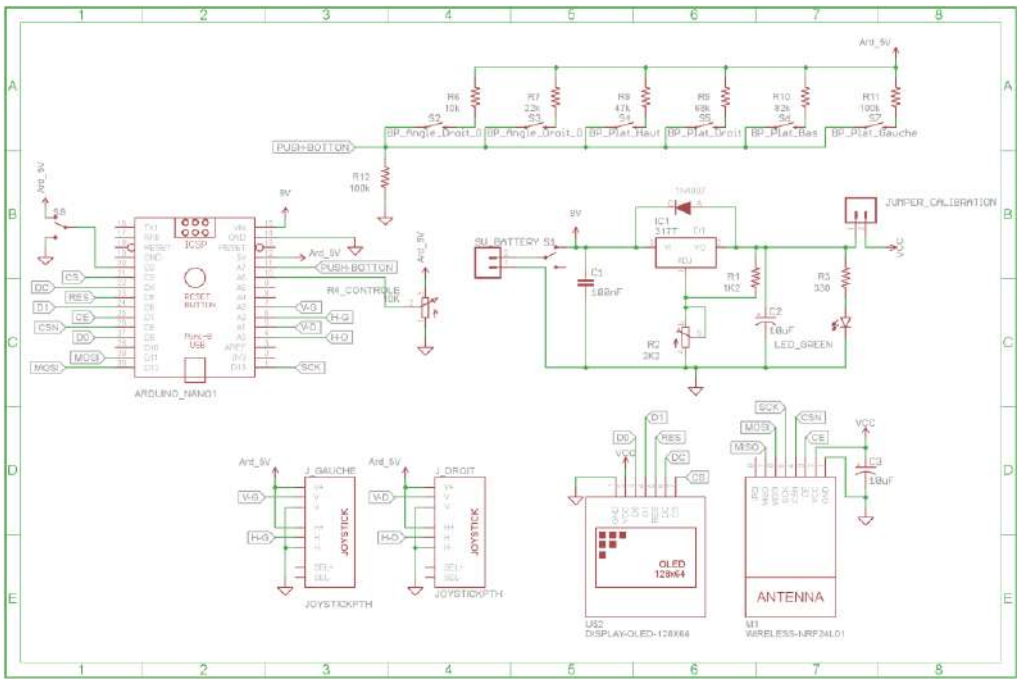


Figure B-7: le schéma électrique de la manette

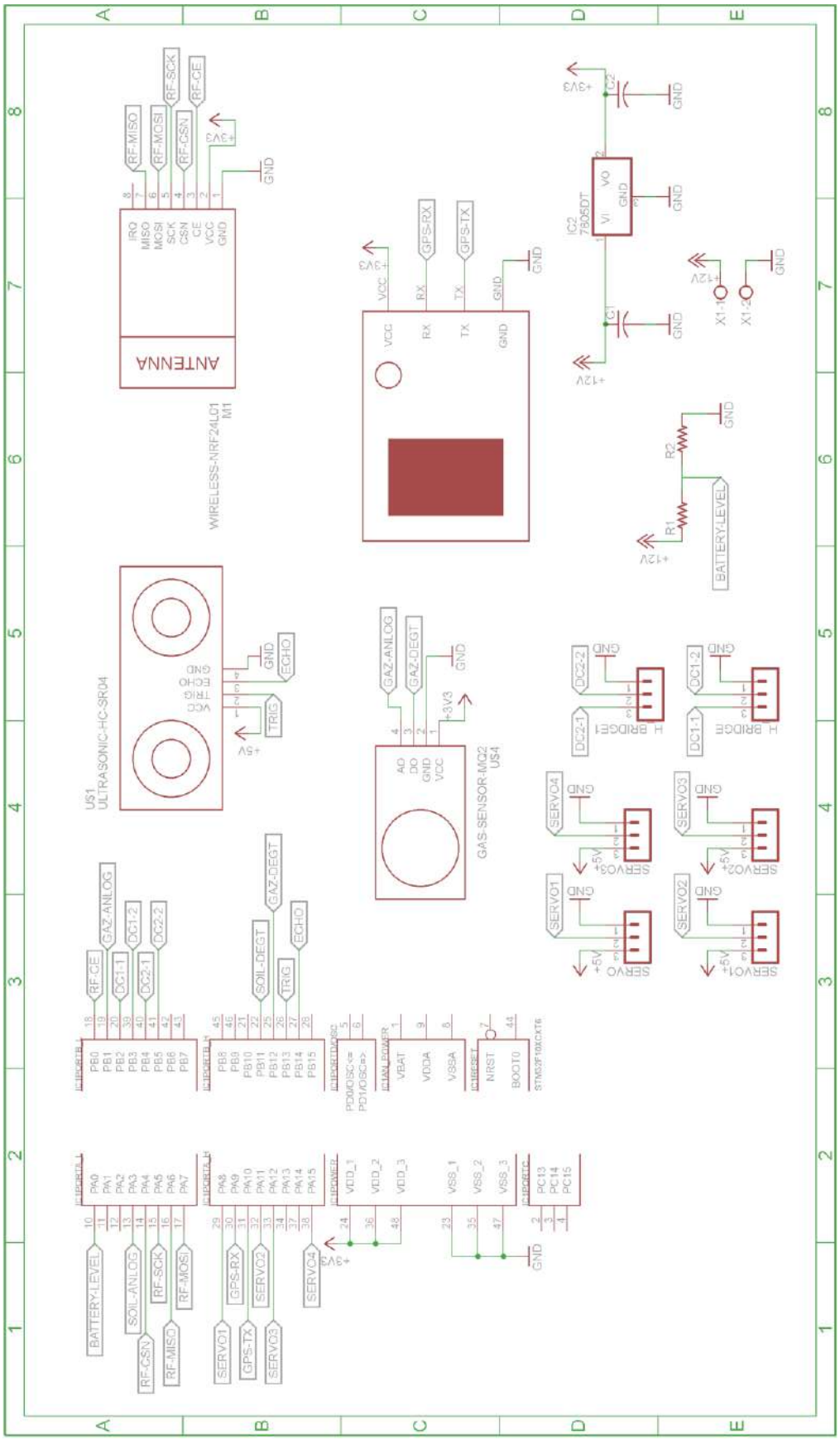
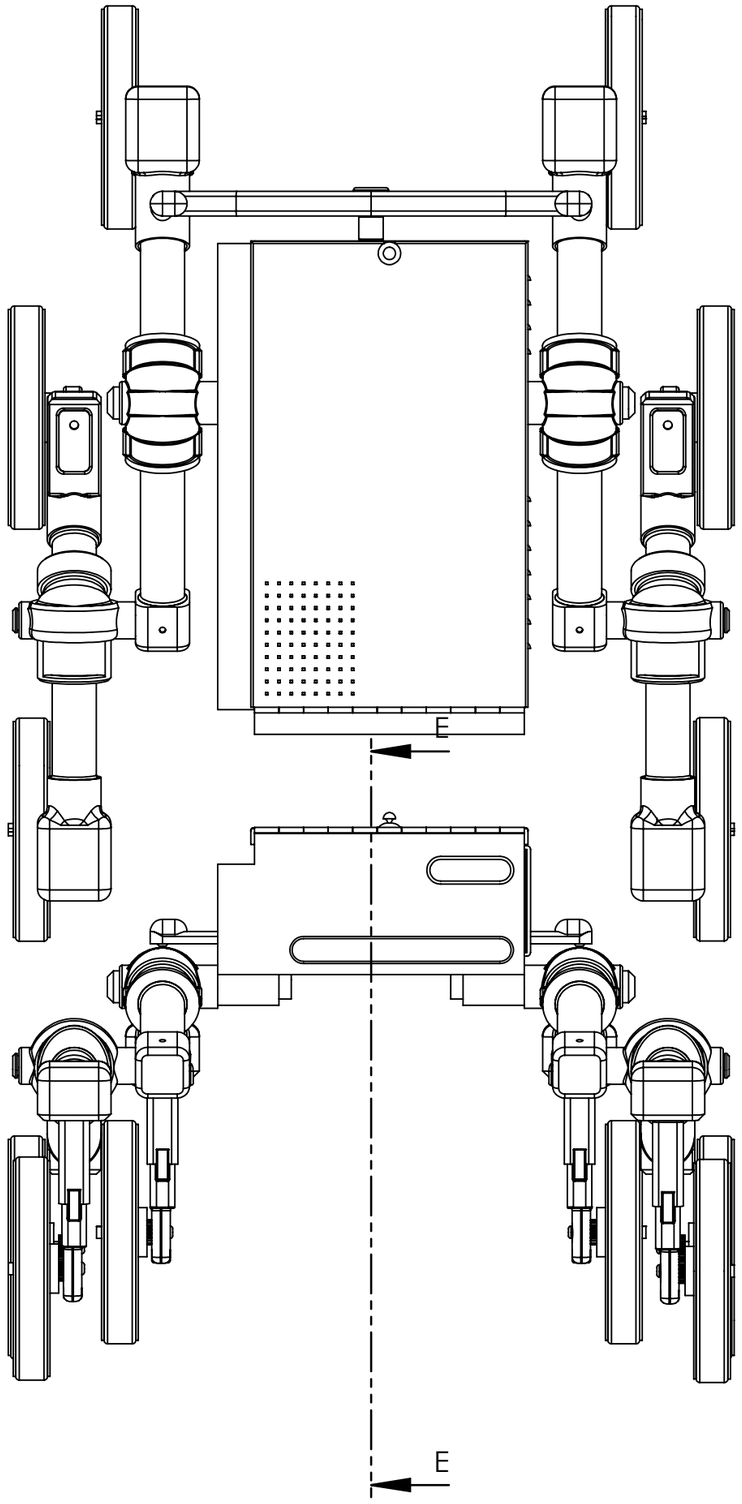
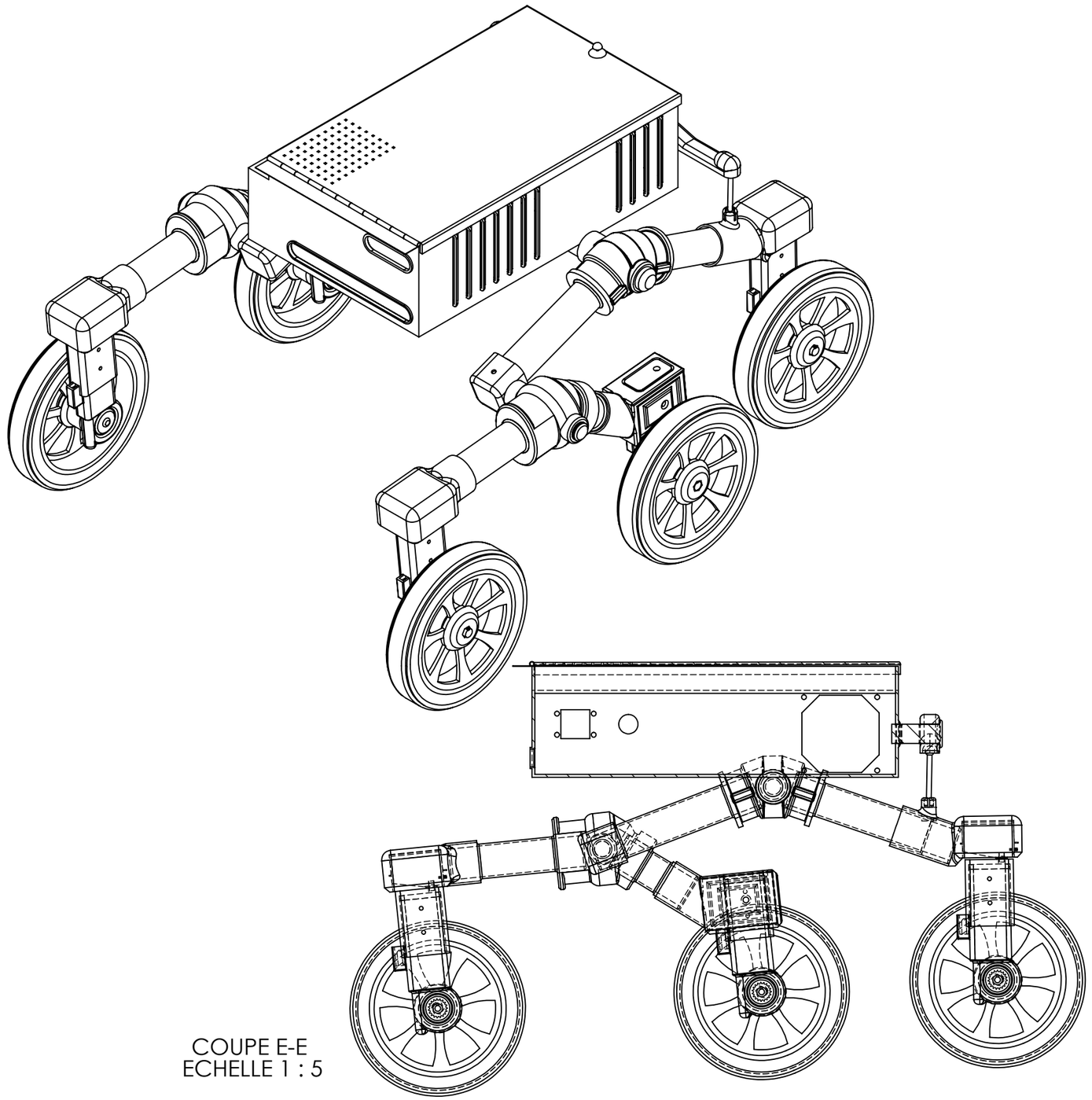


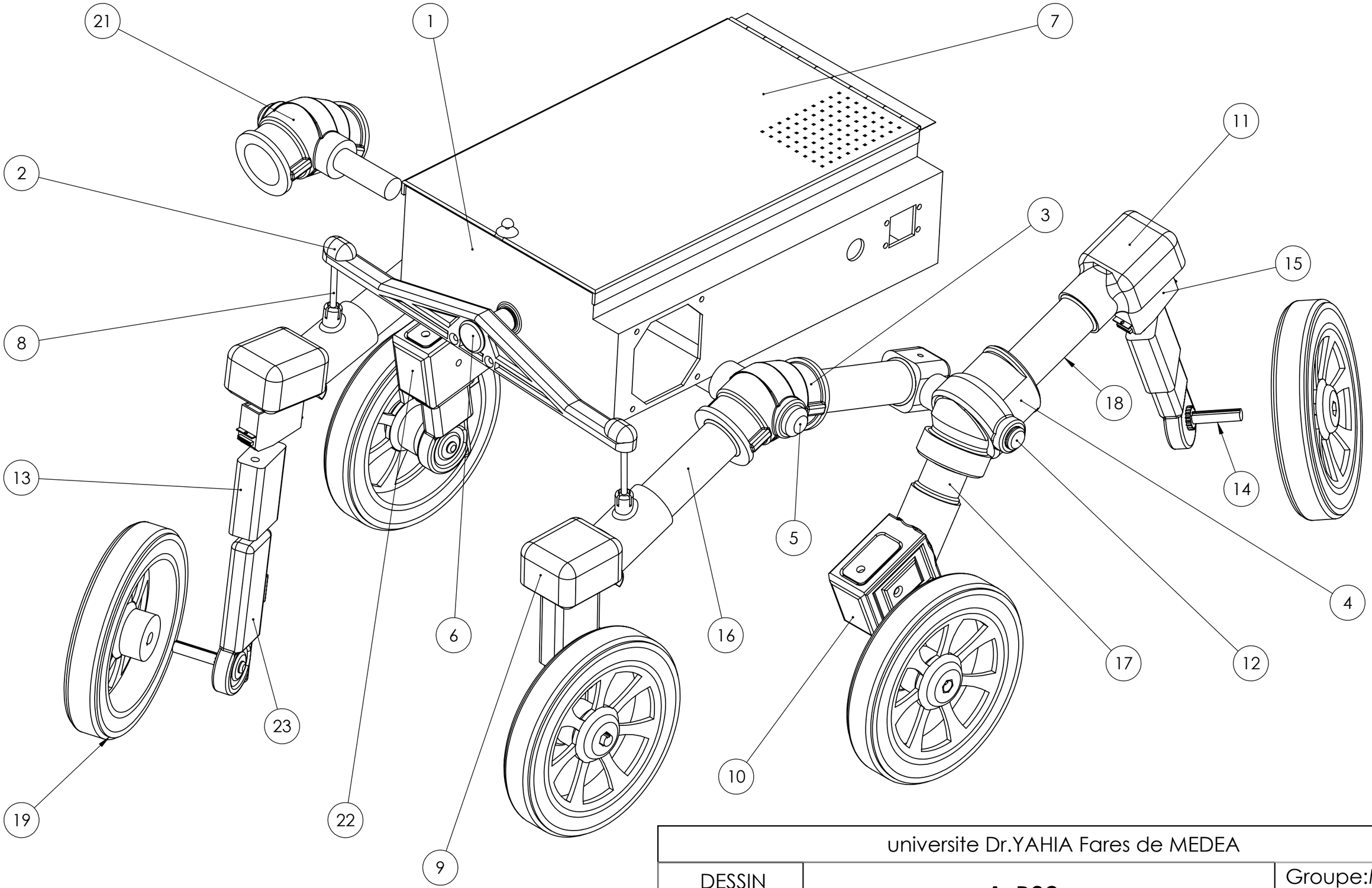
Figure B-8: Schéma électrique globale de robot



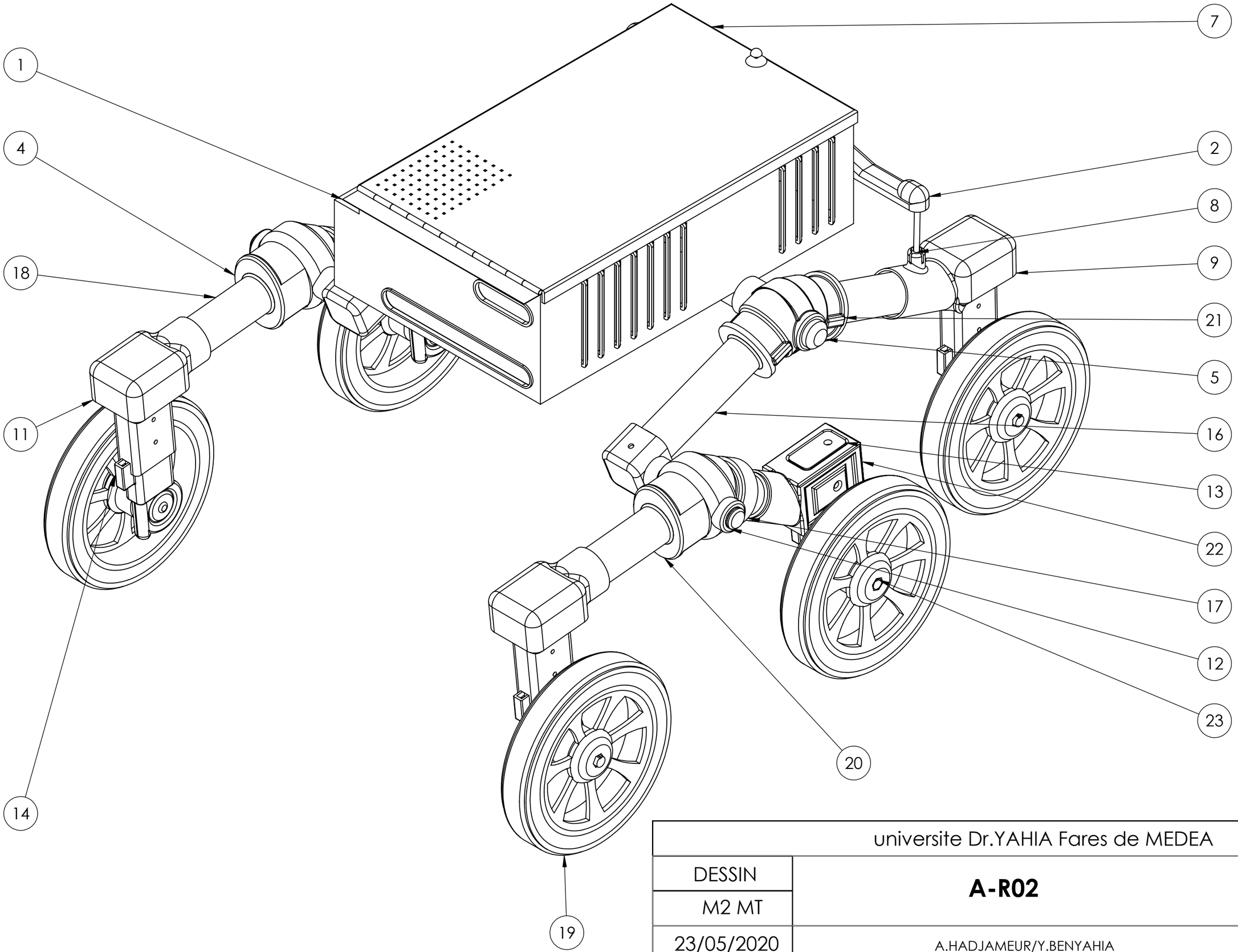


COUPE E-E
ECHELLE 1 : 5

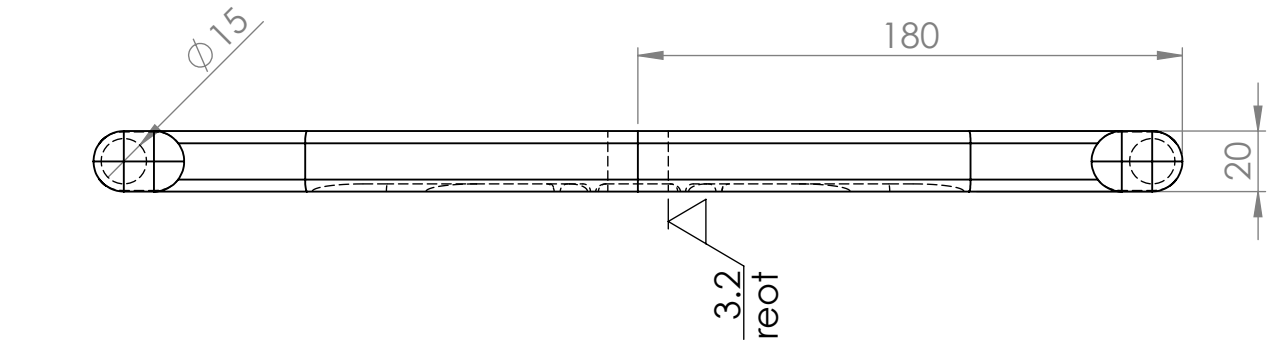
universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**A-R02**	Groupe:MT
M2 MT		Ech 1:5
23/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	

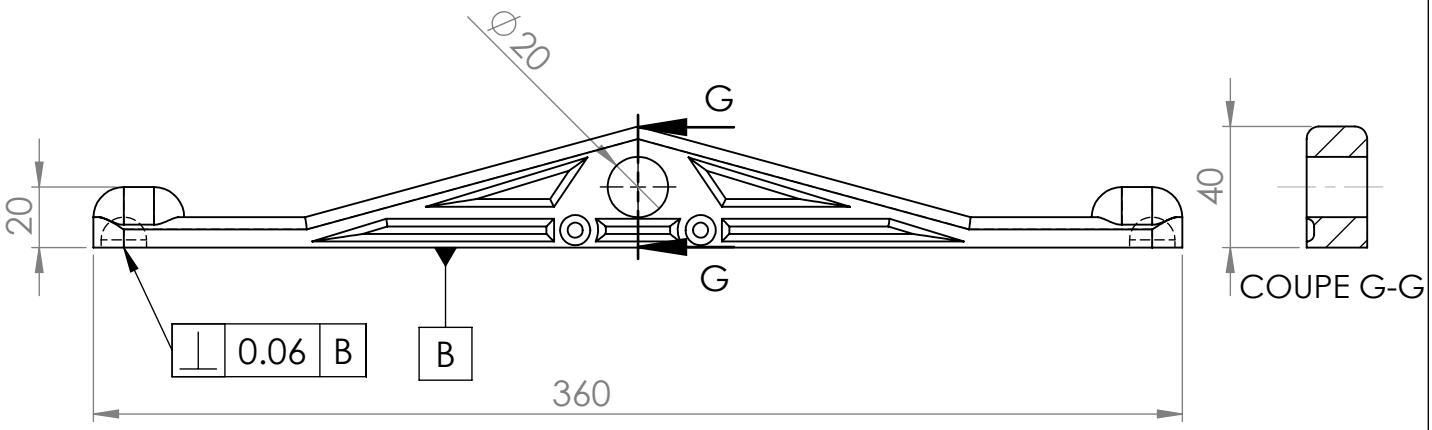


universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**A-R02**	Groupe:MT
M2 MT		Ech 1:3
23/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	

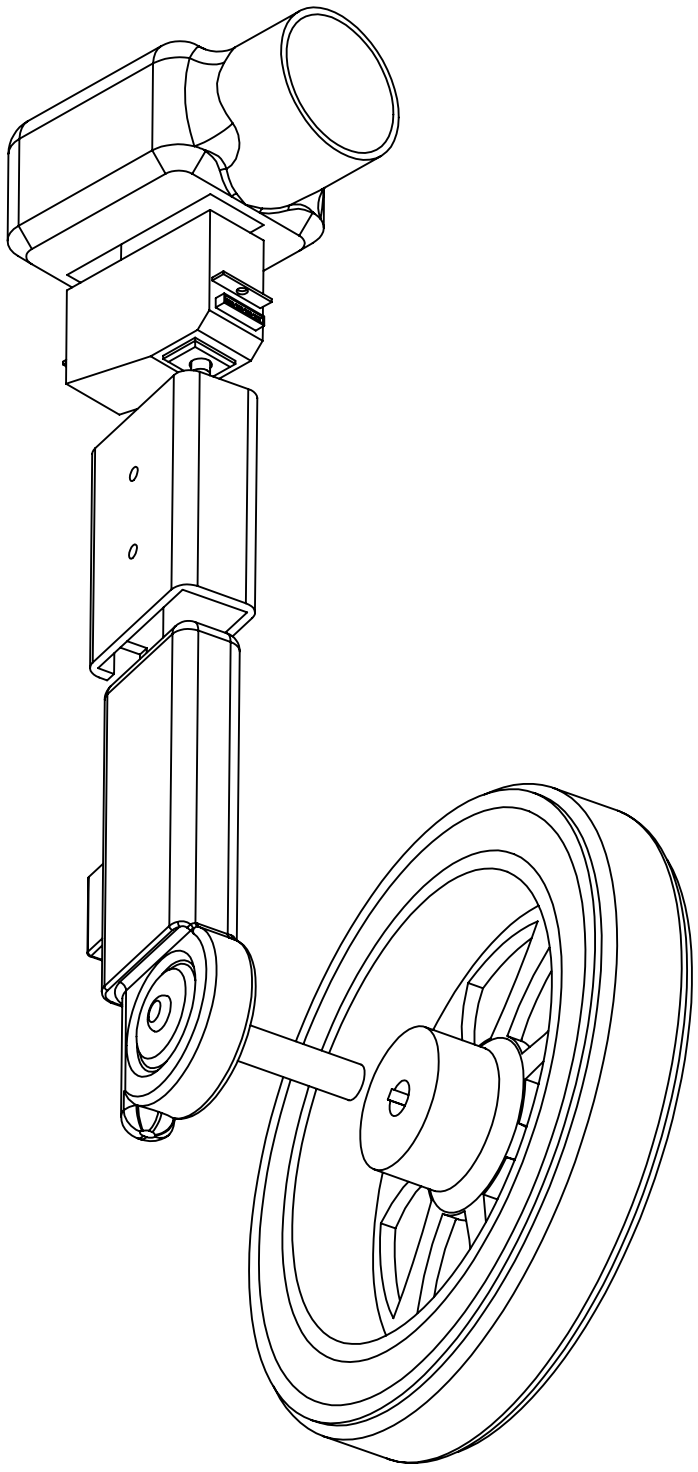


universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**A-R02**	Groupe:MT
M2 MT		Ech 1:5
23/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	

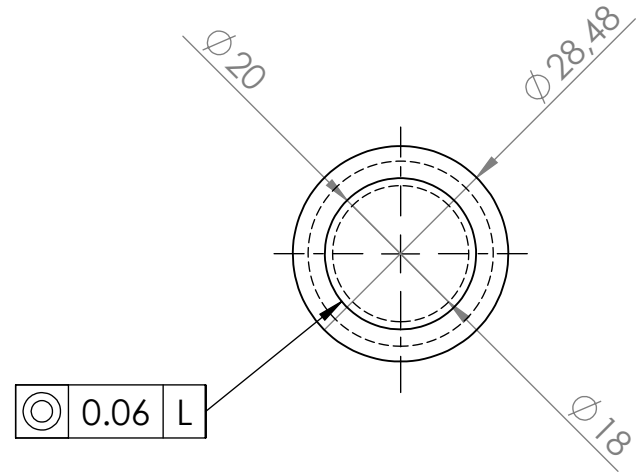


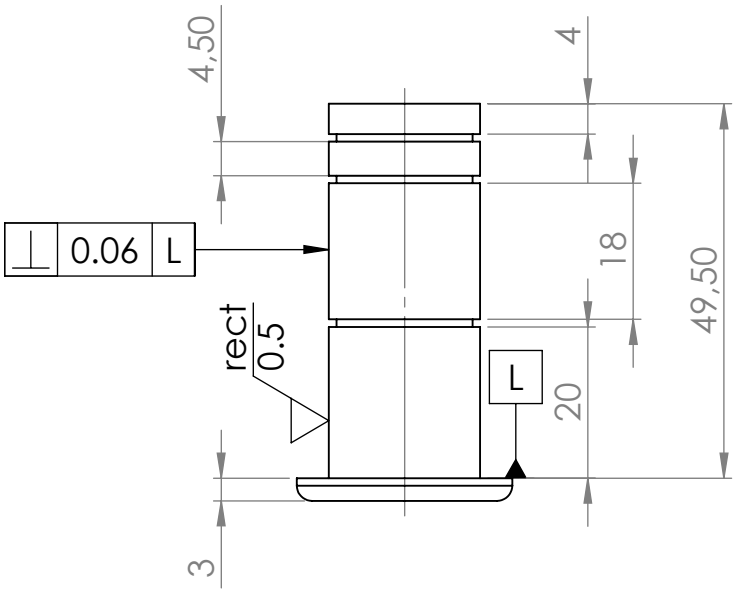


universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	Arbre d'équilibre	Groupe: 01
M2 MT		Ech 2:5
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	

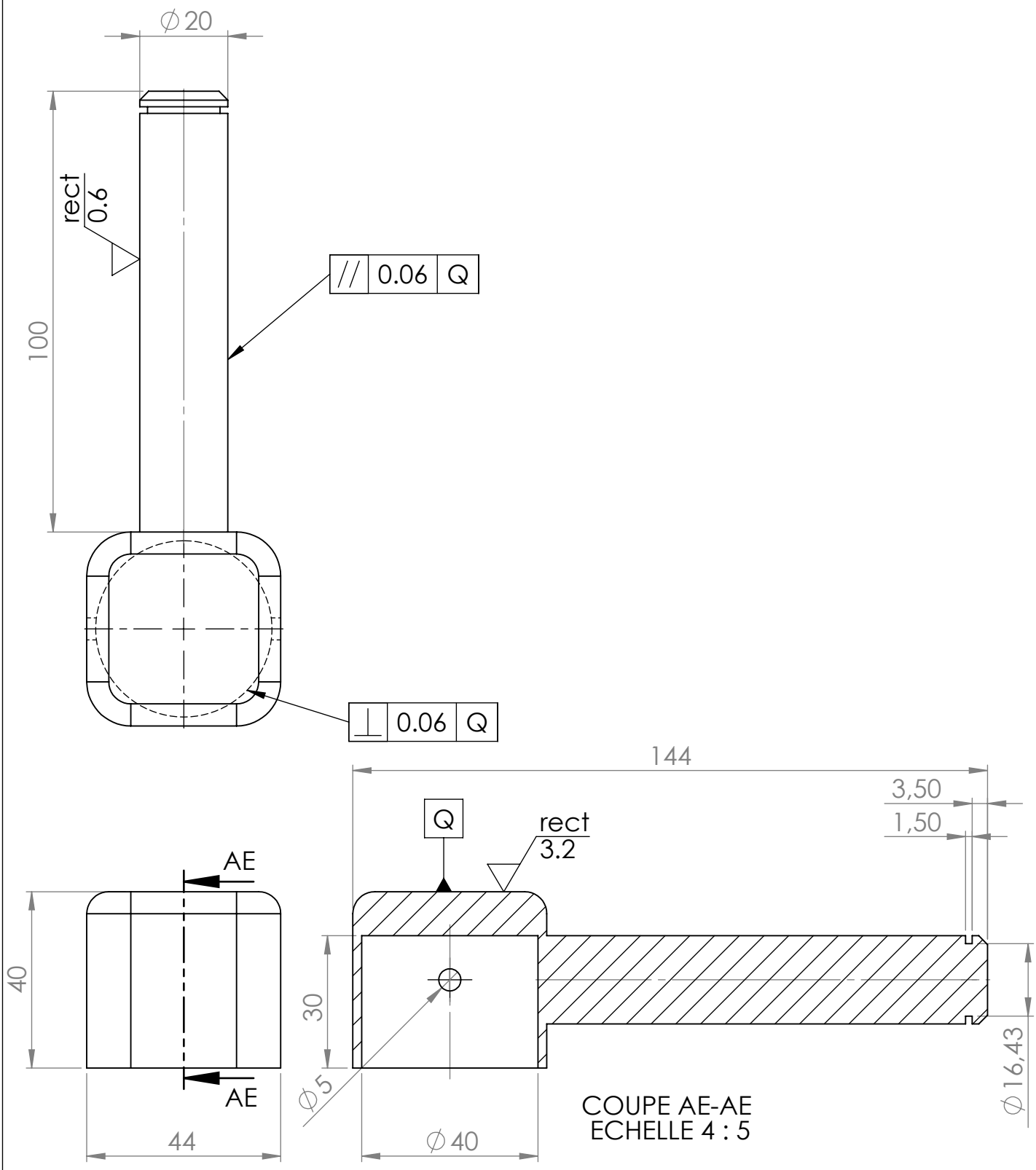


universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**Assemblage du moteurs**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 1:1
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	

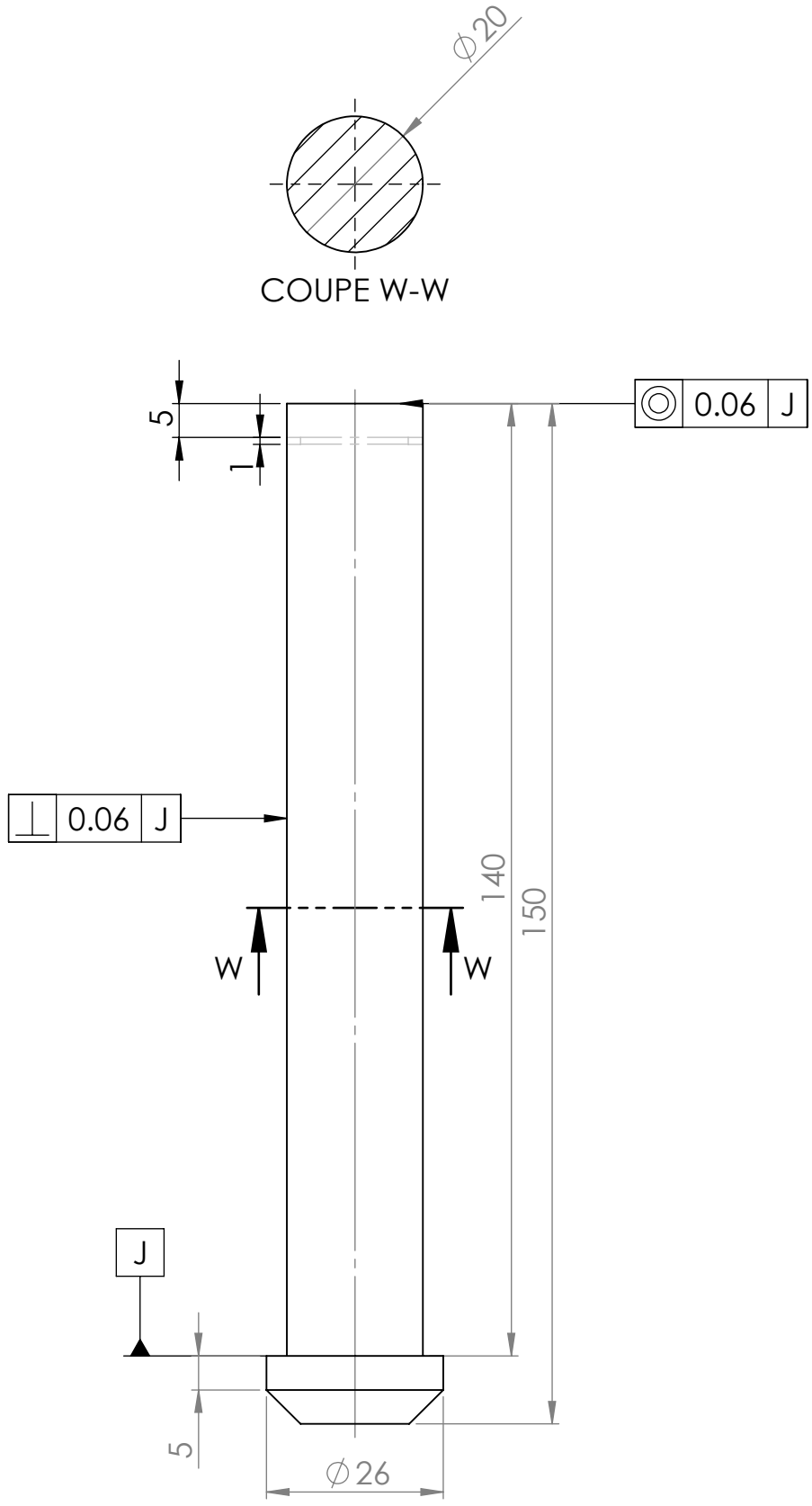




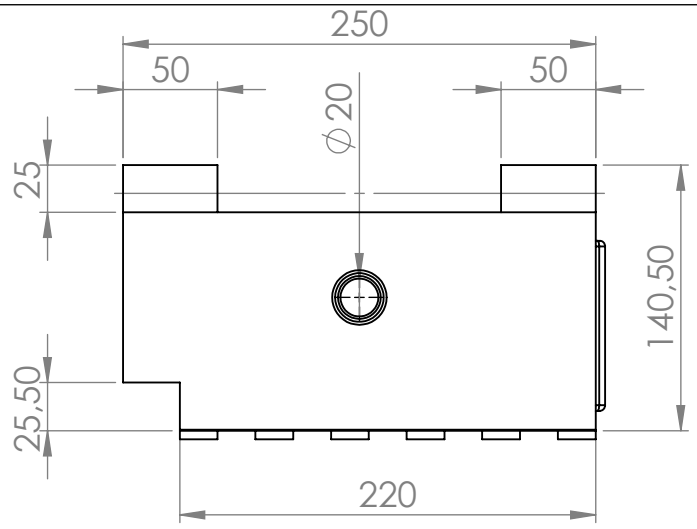
universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**Axe d'arbre d'equilibre**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 1:1
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	

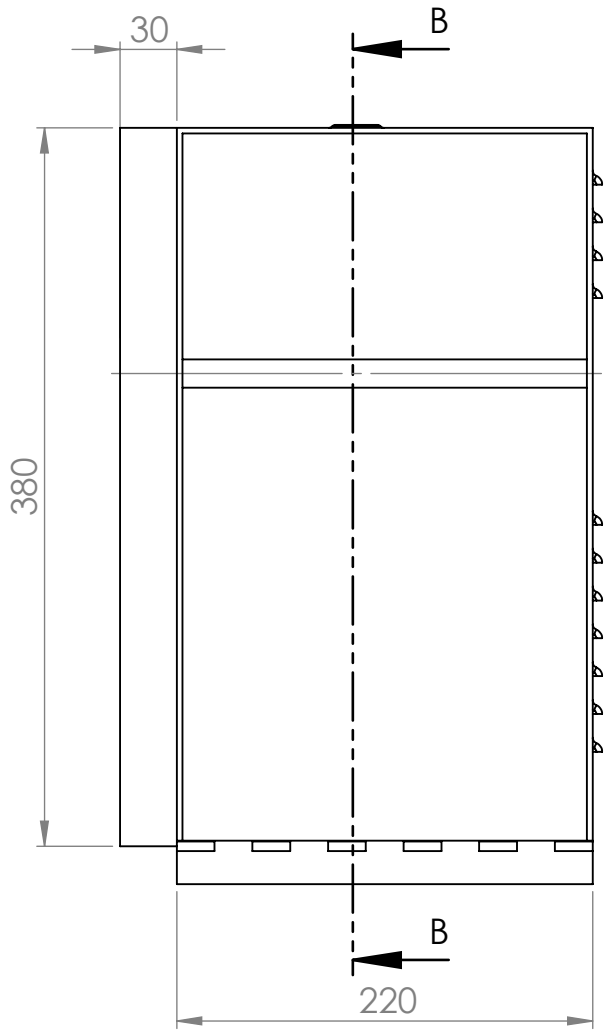


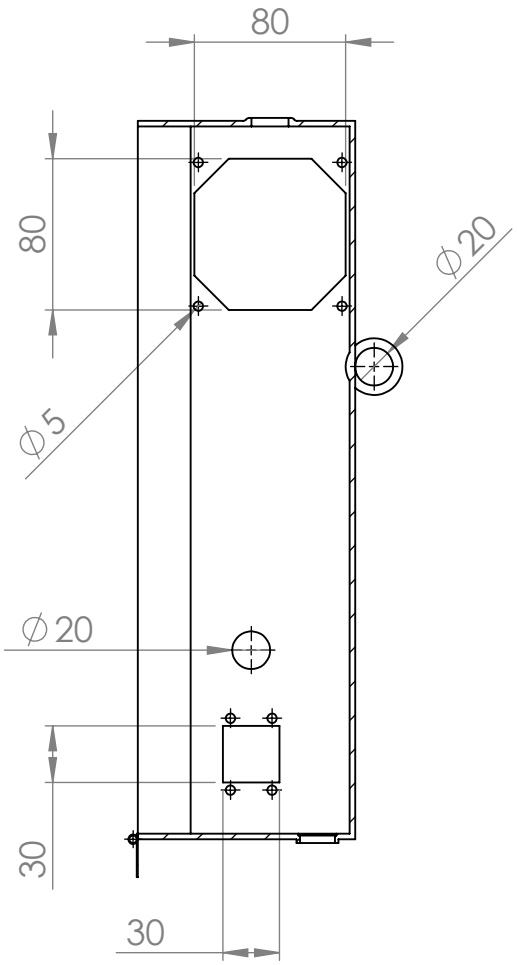
universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**Axe inférieur 2**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 4:5
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	



universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**axe supérieur**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 1:2
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	

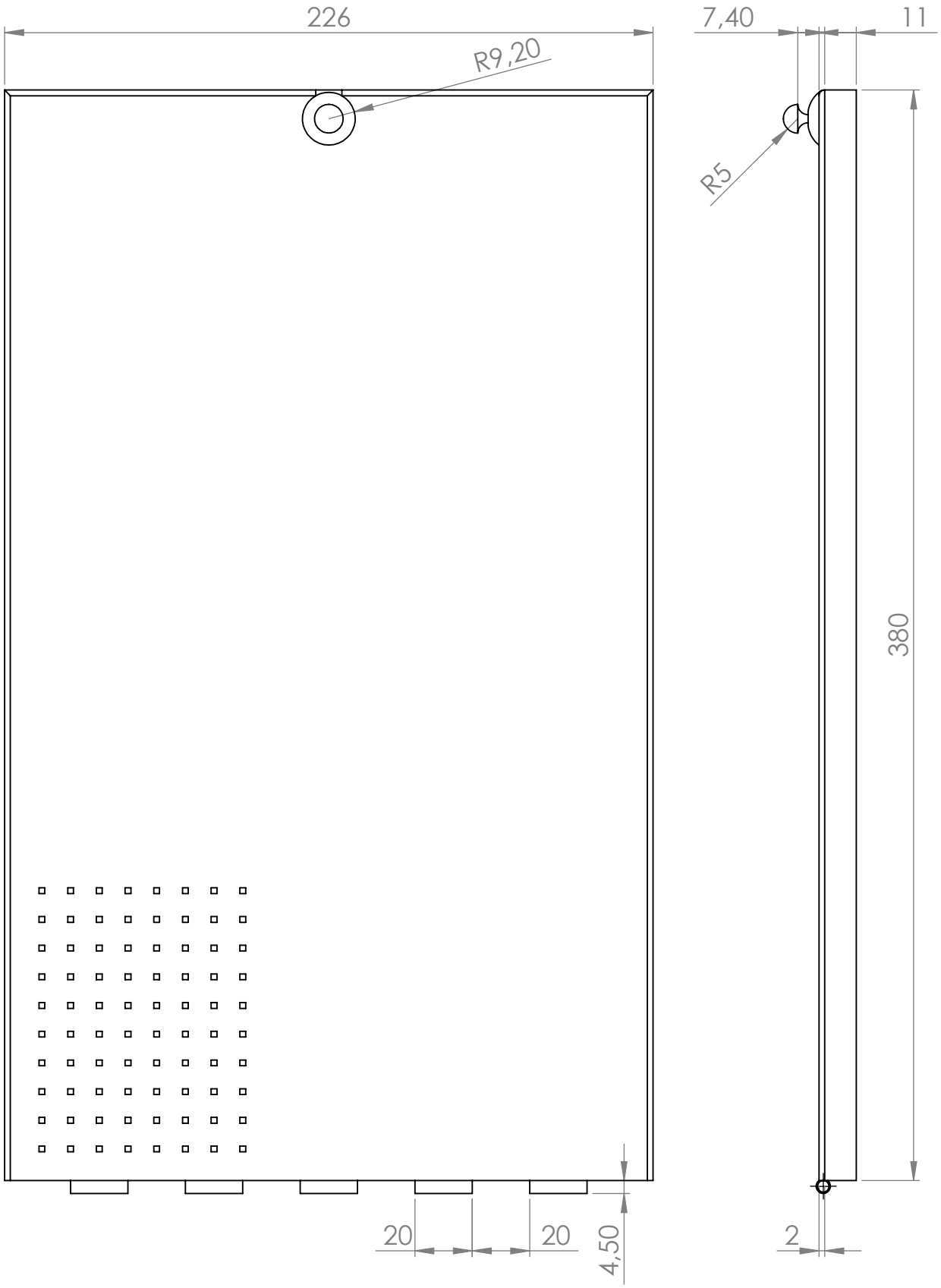




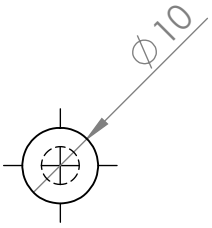


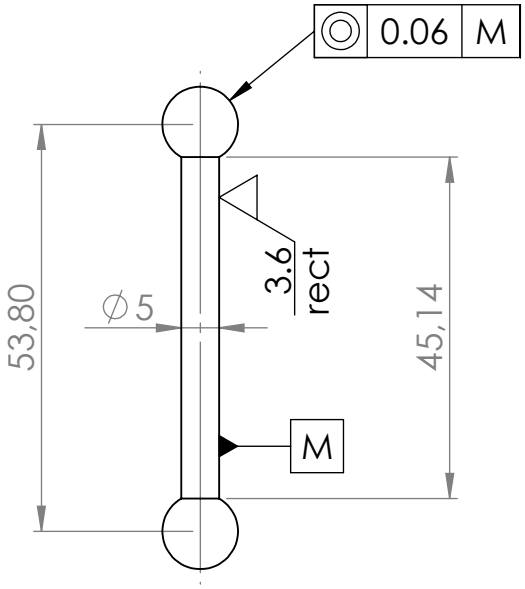
COUPE B-B
ECHELLE 1 : 4

universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**Boitier**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 1:4
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	

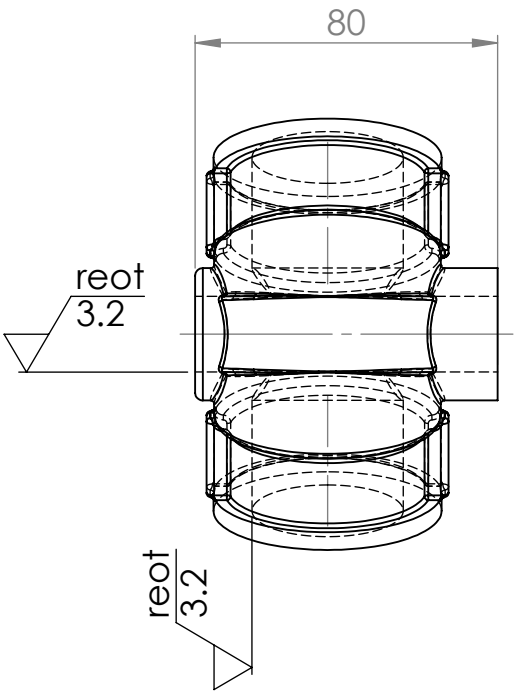


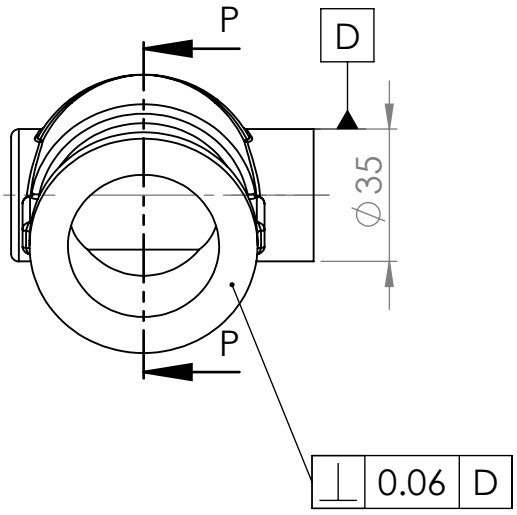
universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**Couvercle de boîtier**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 1:2
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	

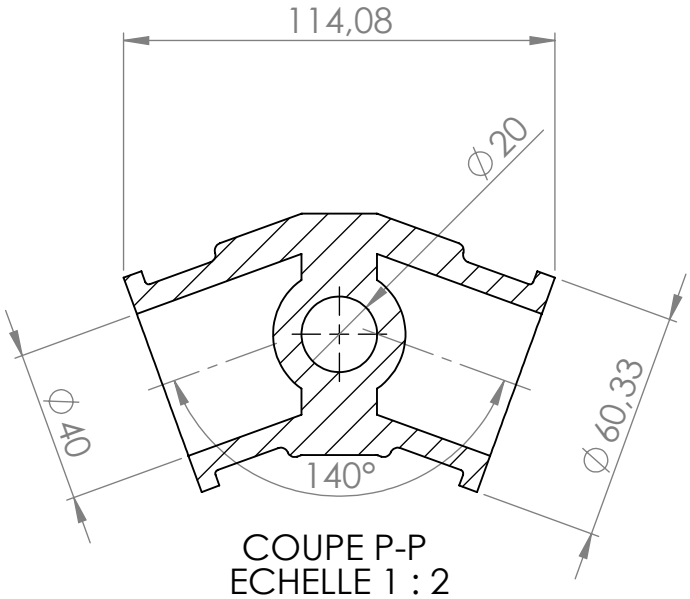




universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**guide**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 1:1
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	

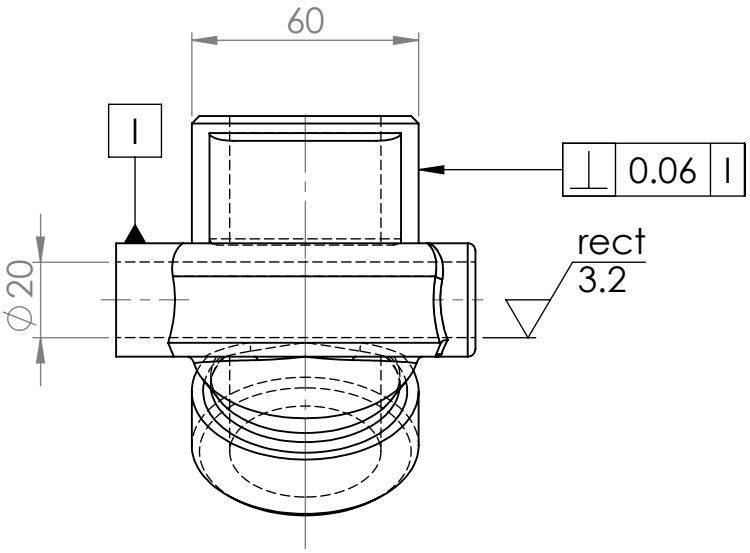


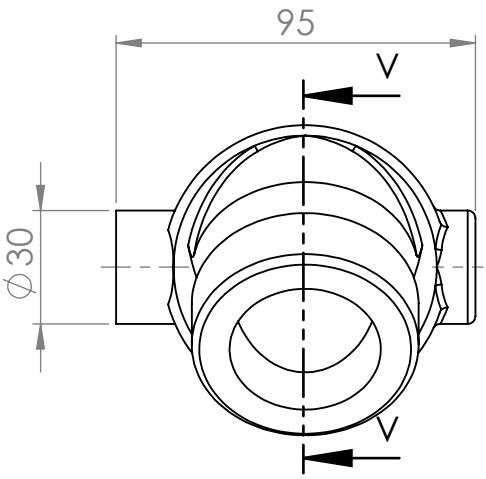


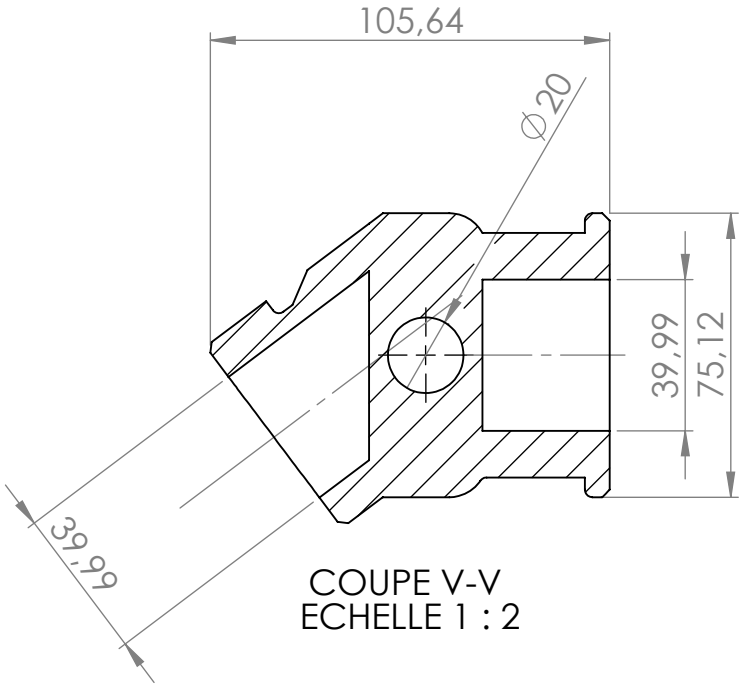


COUPE P-P
ECHELLE 1 : 2

universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**jonction: 03**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 1:2
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	

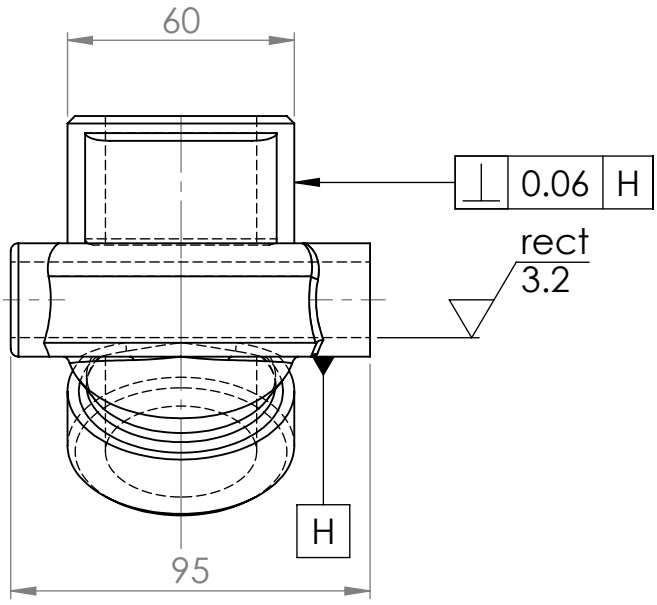


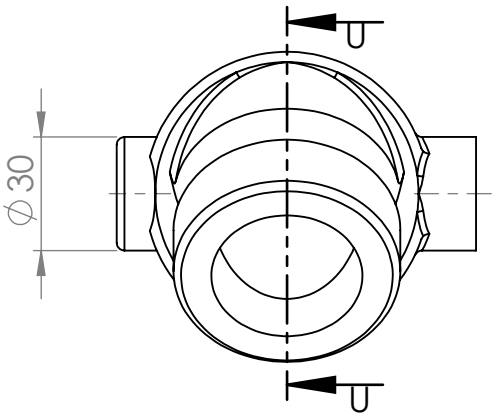


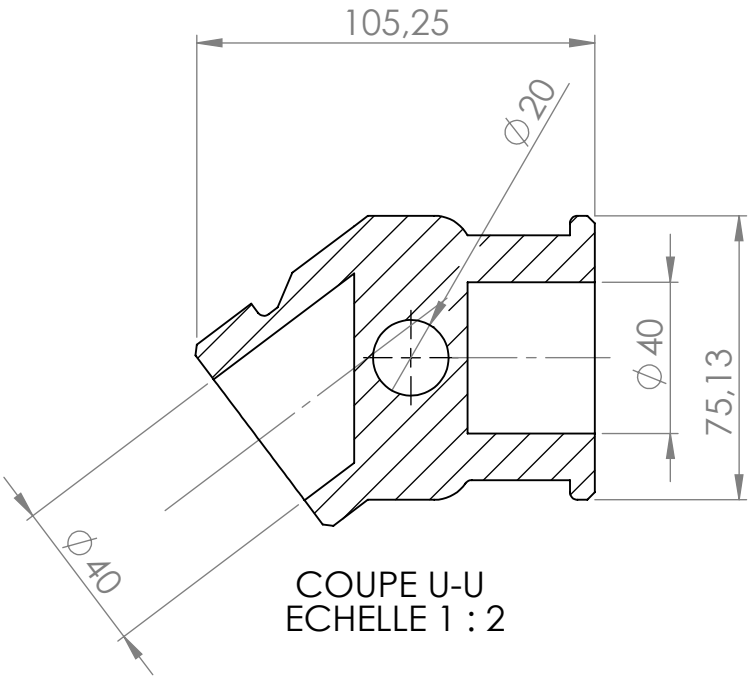


COUPE V-V
ECHELLE 1 : 2

universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**jonction: 04**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 1:2
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	

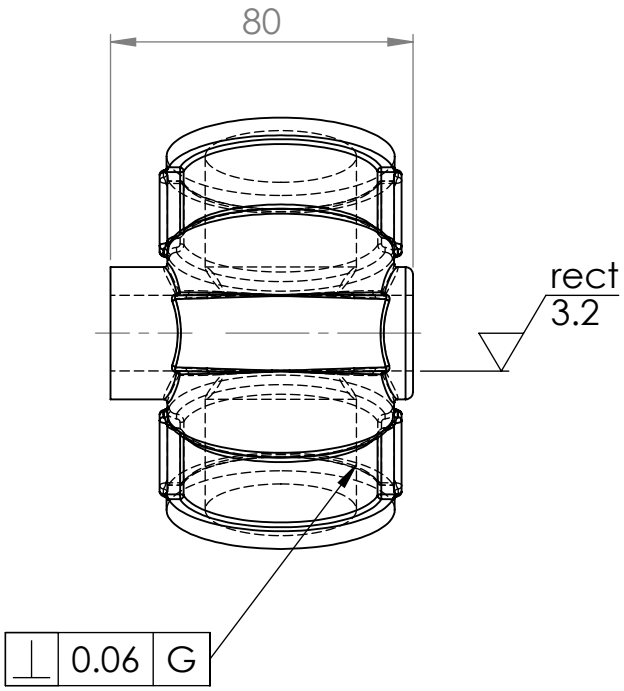


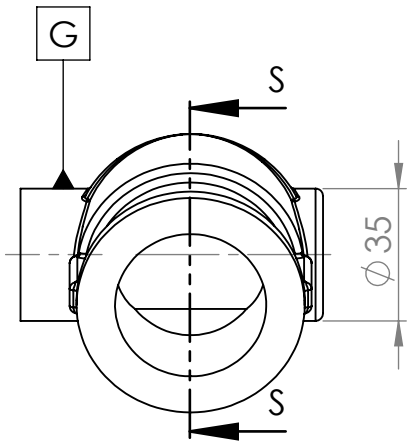


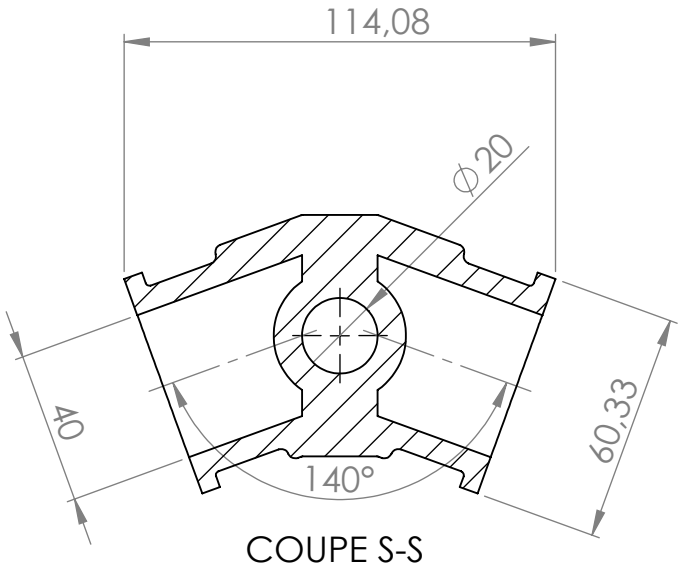


COUPE U-U
ECHELLE 1 : 2

universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**jonction: 20**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 1:2
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	

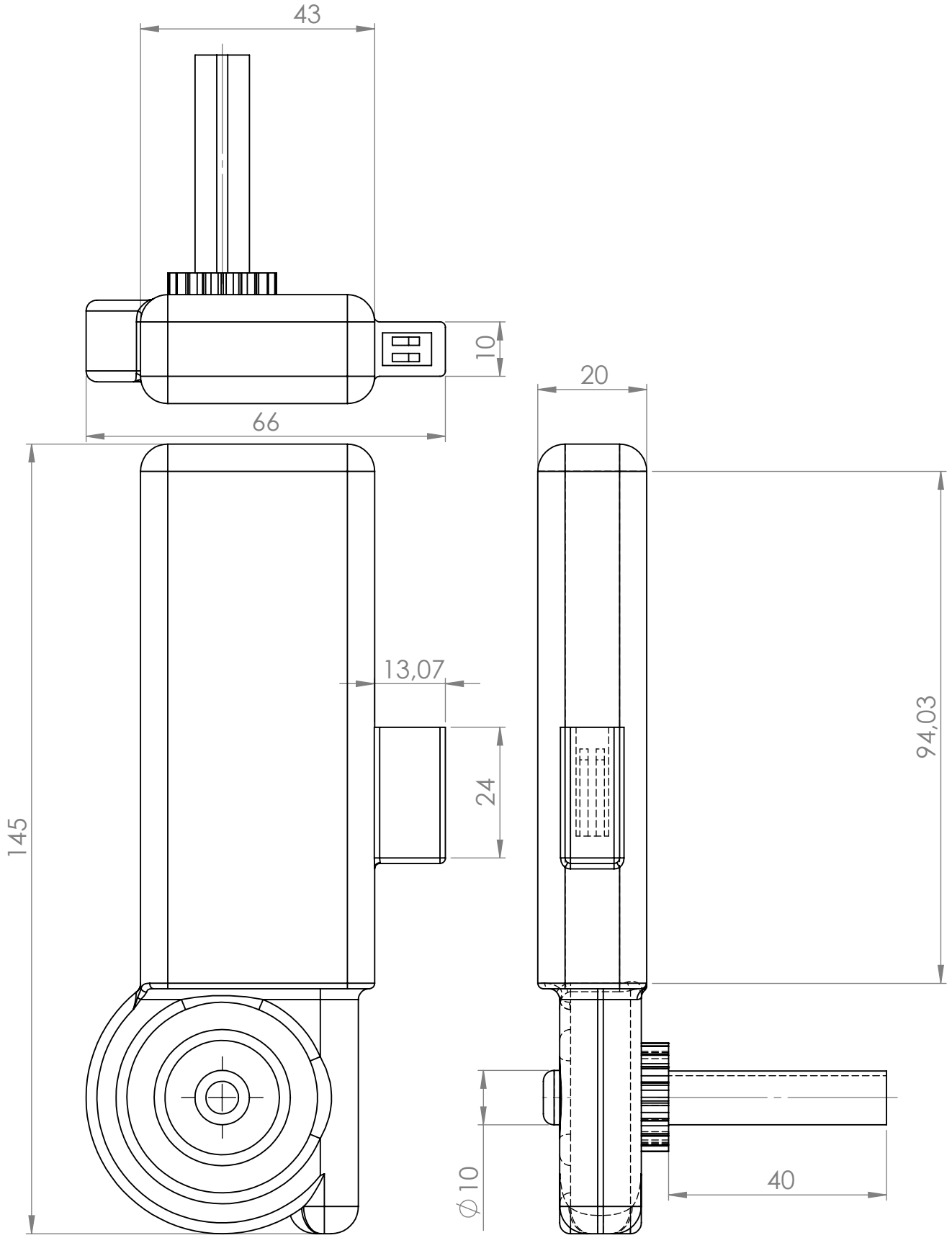




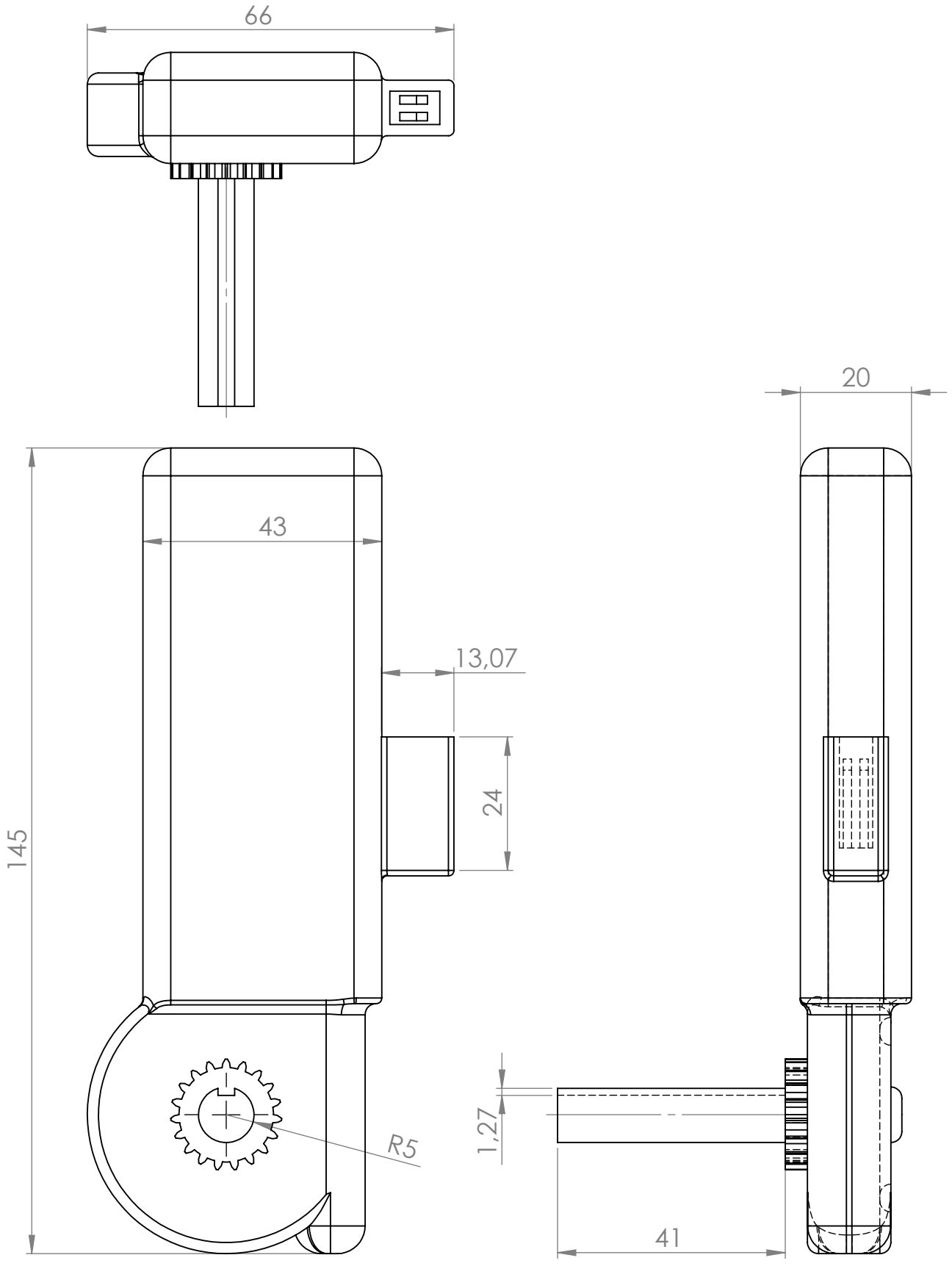


COUPE S-S
ECHELLE 1 : 2

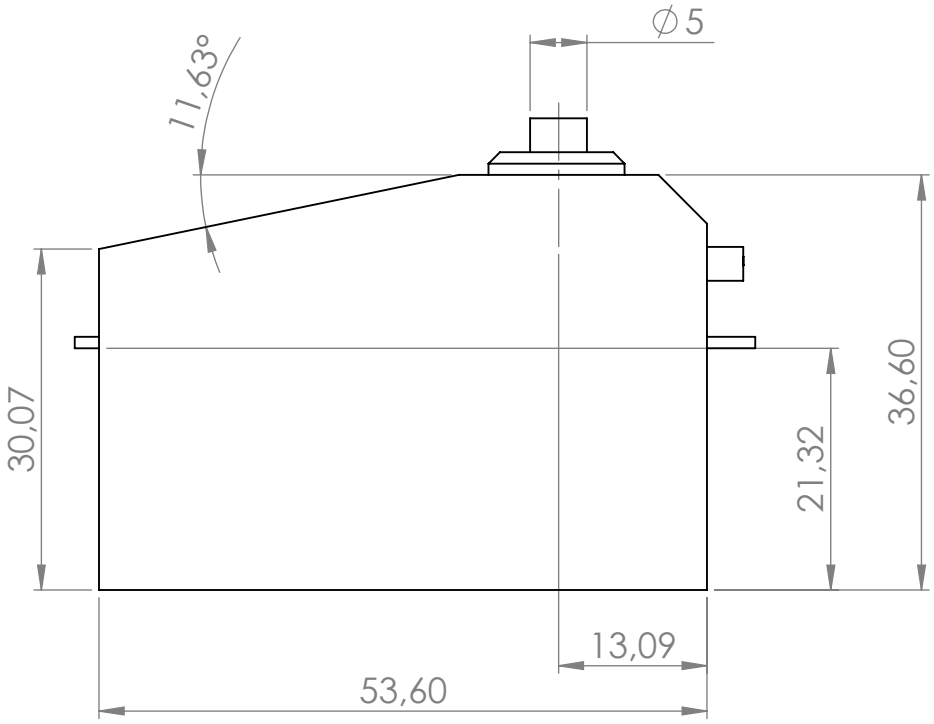
universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**jonction: 21**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 1:2
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	

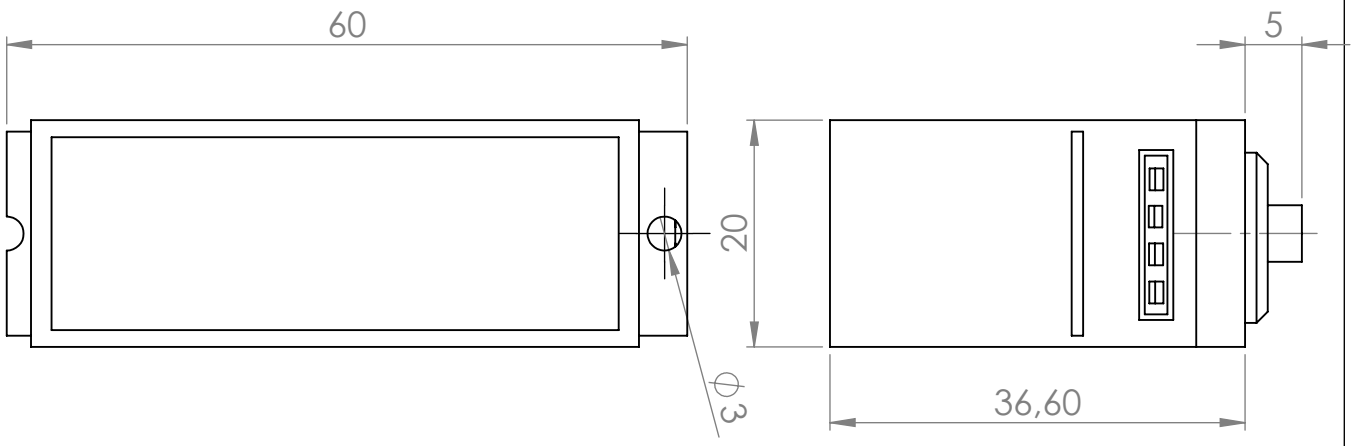


universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**moteur D: 23**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 1:1
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	

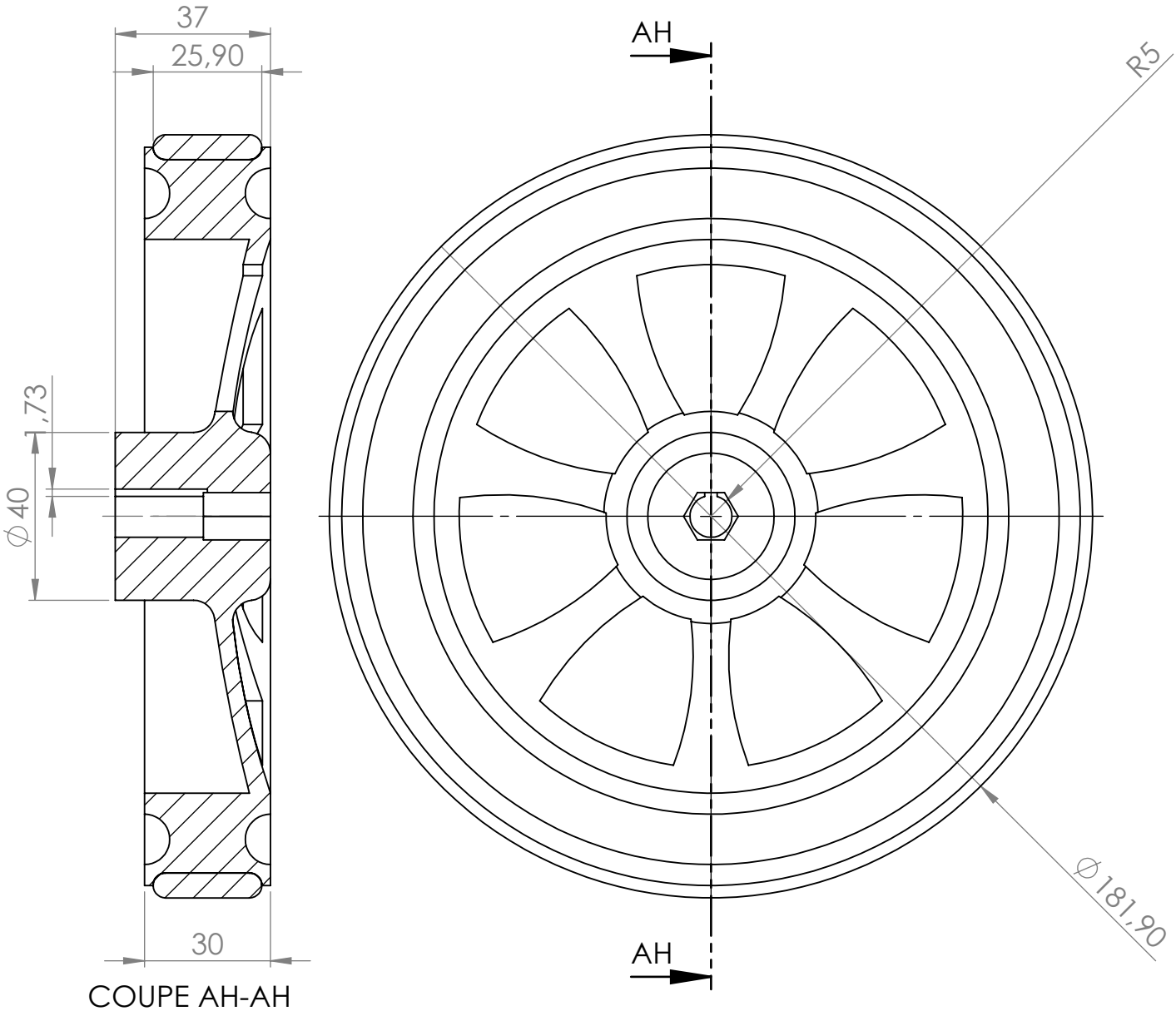


universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**moteur G: 14**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 1:1
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	



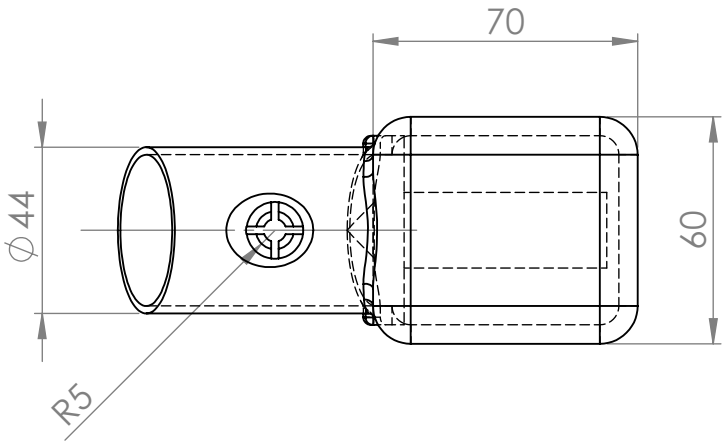


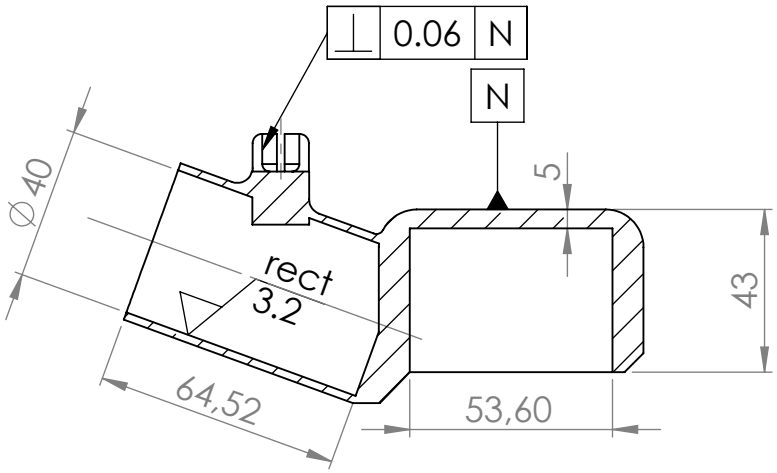
universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**moteur servo :15**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 3:2
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	

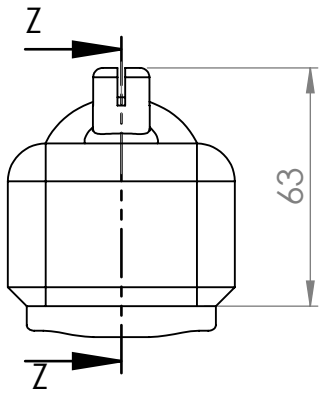


COUPE AH-AH
ECHELLE 2 : 3

universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**Roue: 19**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 2:3
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	

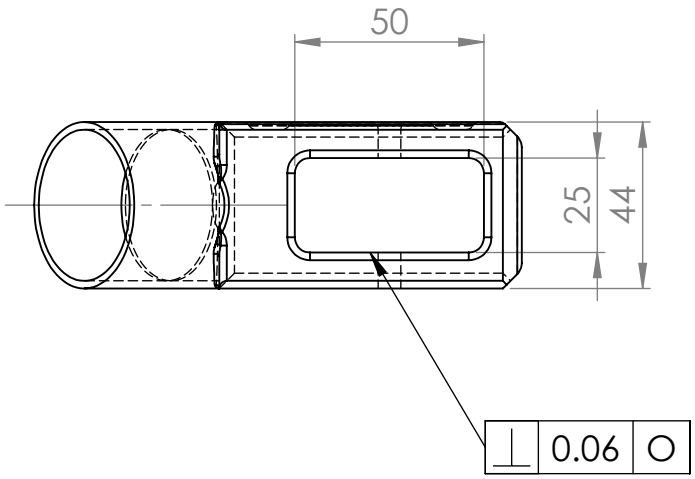


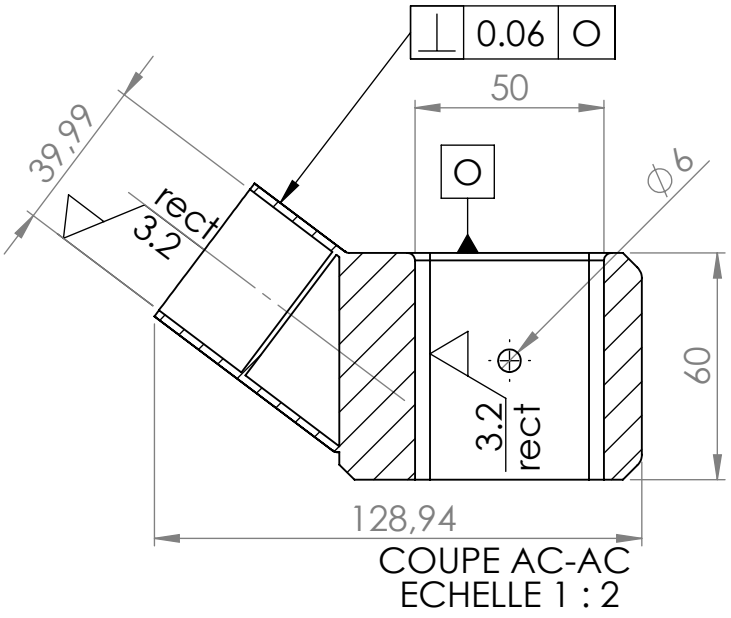




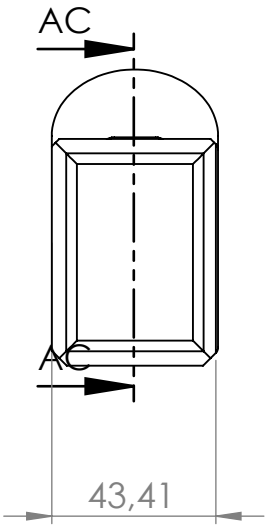
COUPE Z-Z
ECHELLE 1 : 2

universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**Support moteur: 09**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 1:2
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	

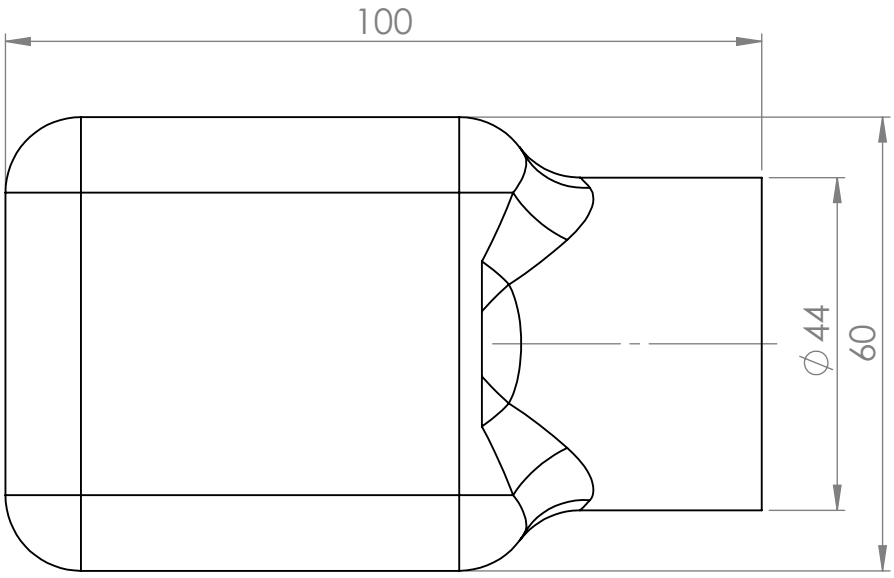


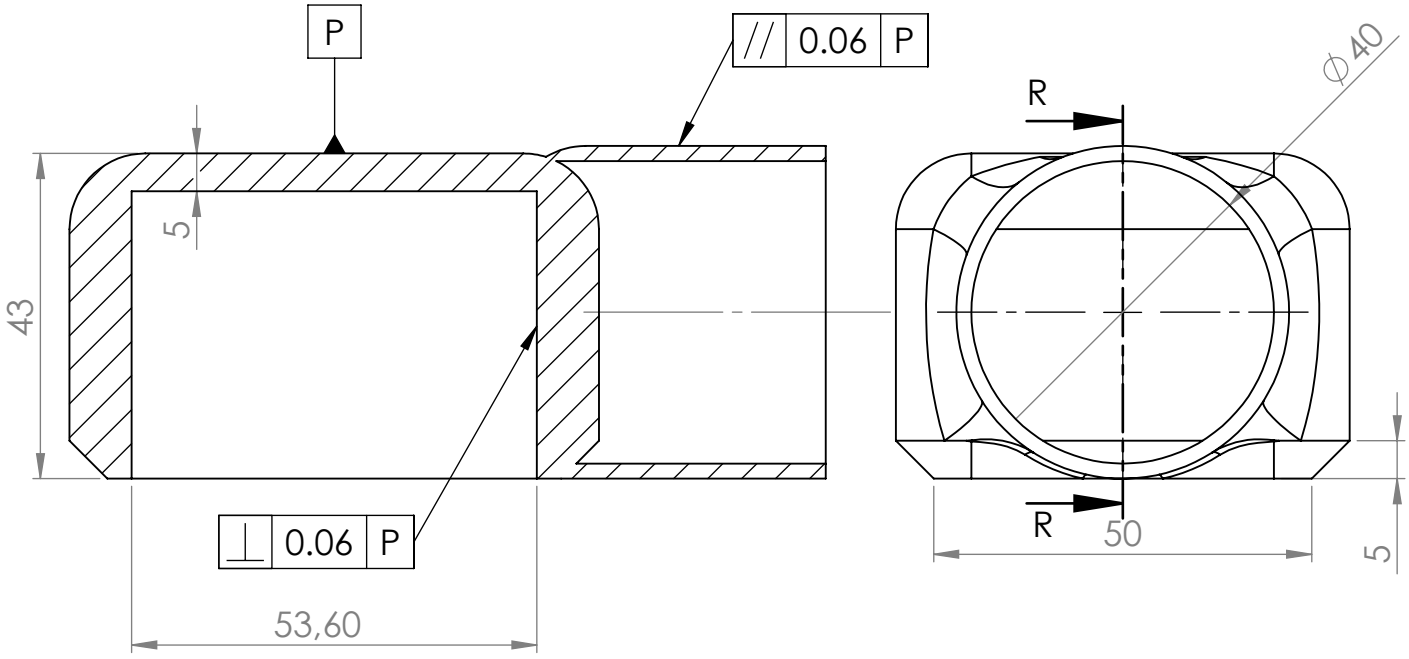


COUPE AC-AC
ECHELLE 1 : 2



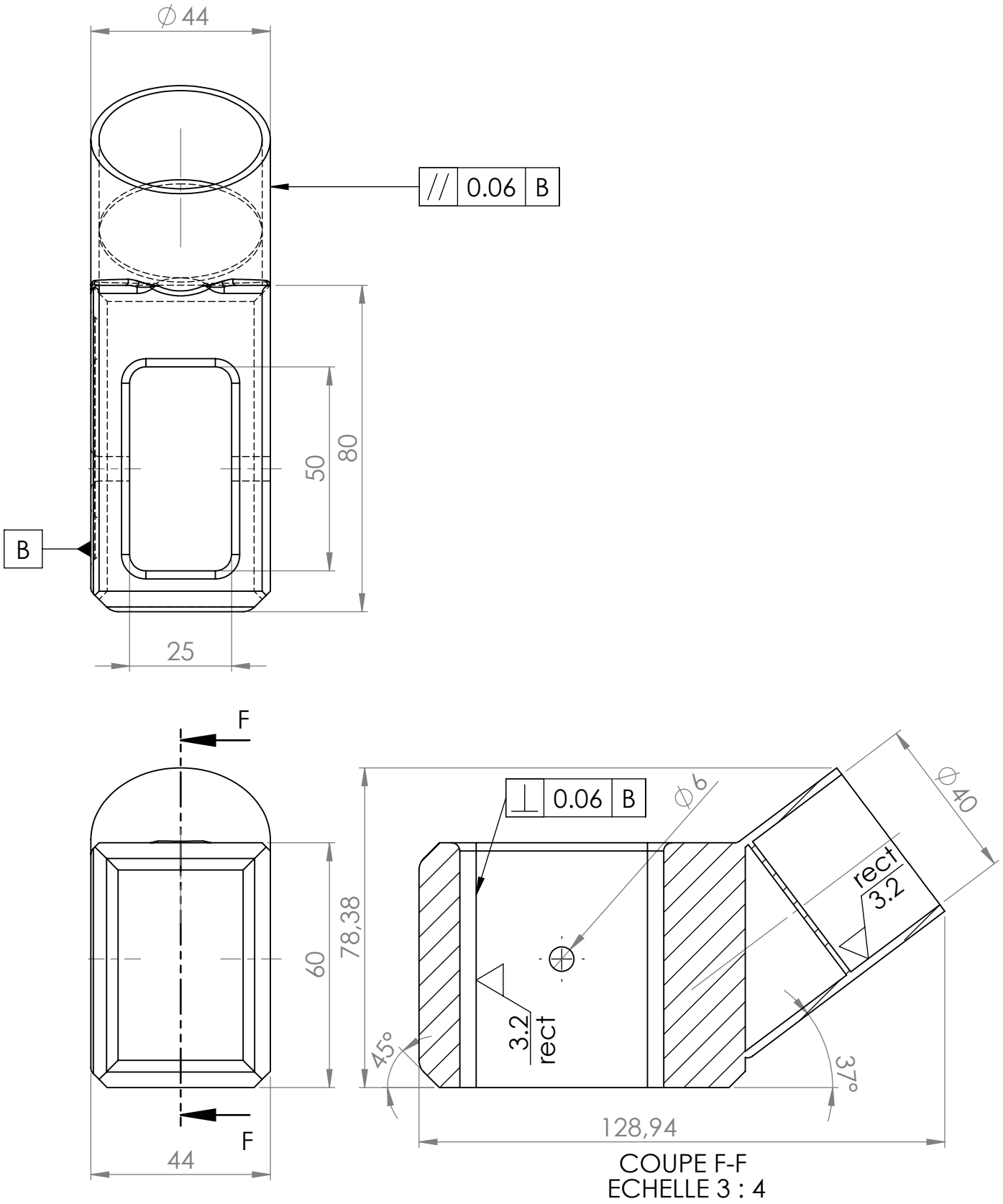
universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**Support moteur: 10**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 1:2
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	





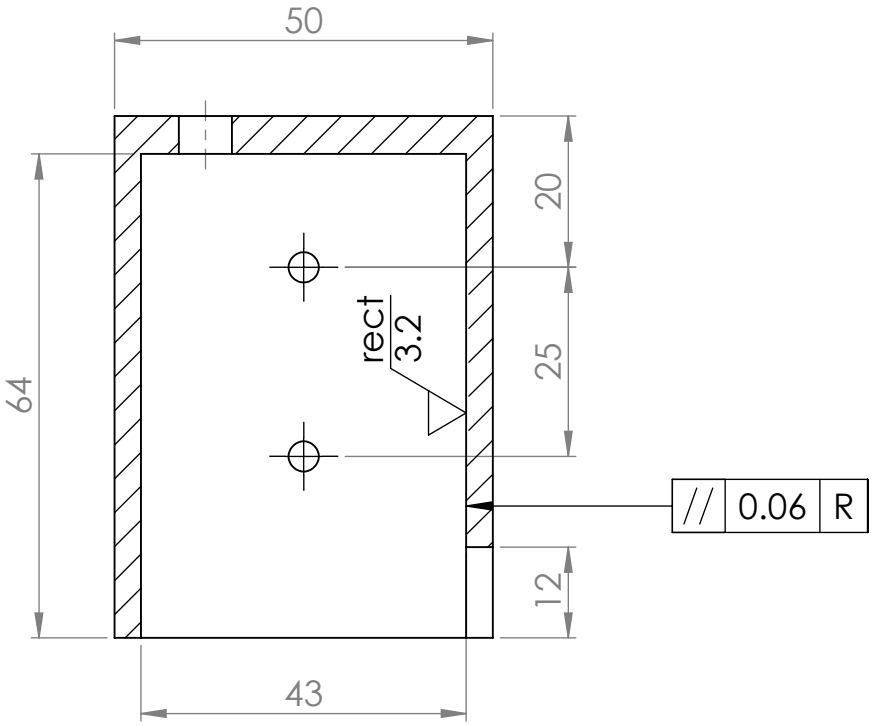
COUPE R-R

universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**Support moteur: 11**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 1:1
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	

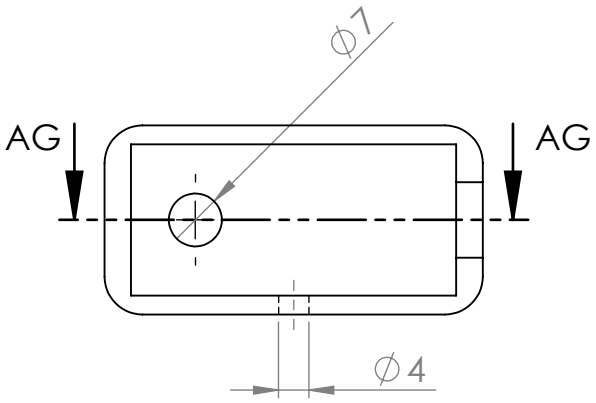


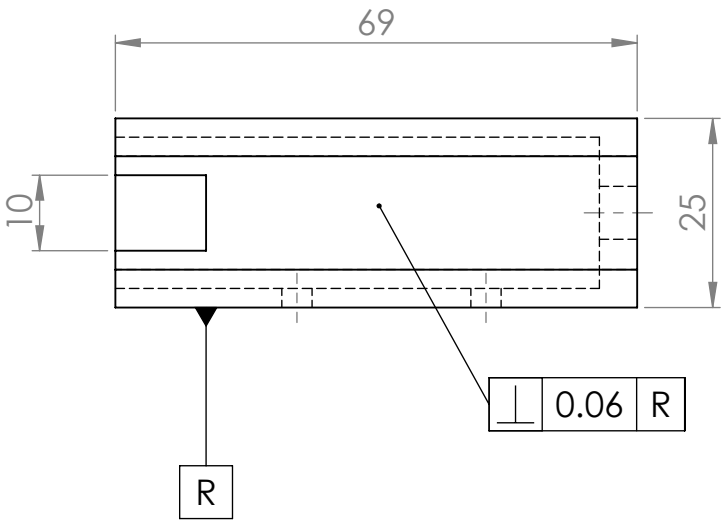
COUPE F-F
ECHELLE 3 : 4

universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	Support moteur12	Groupe:MT
MT GM		Ech 3:4
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	



COUPE AG-AG

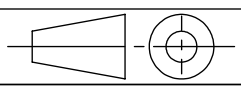


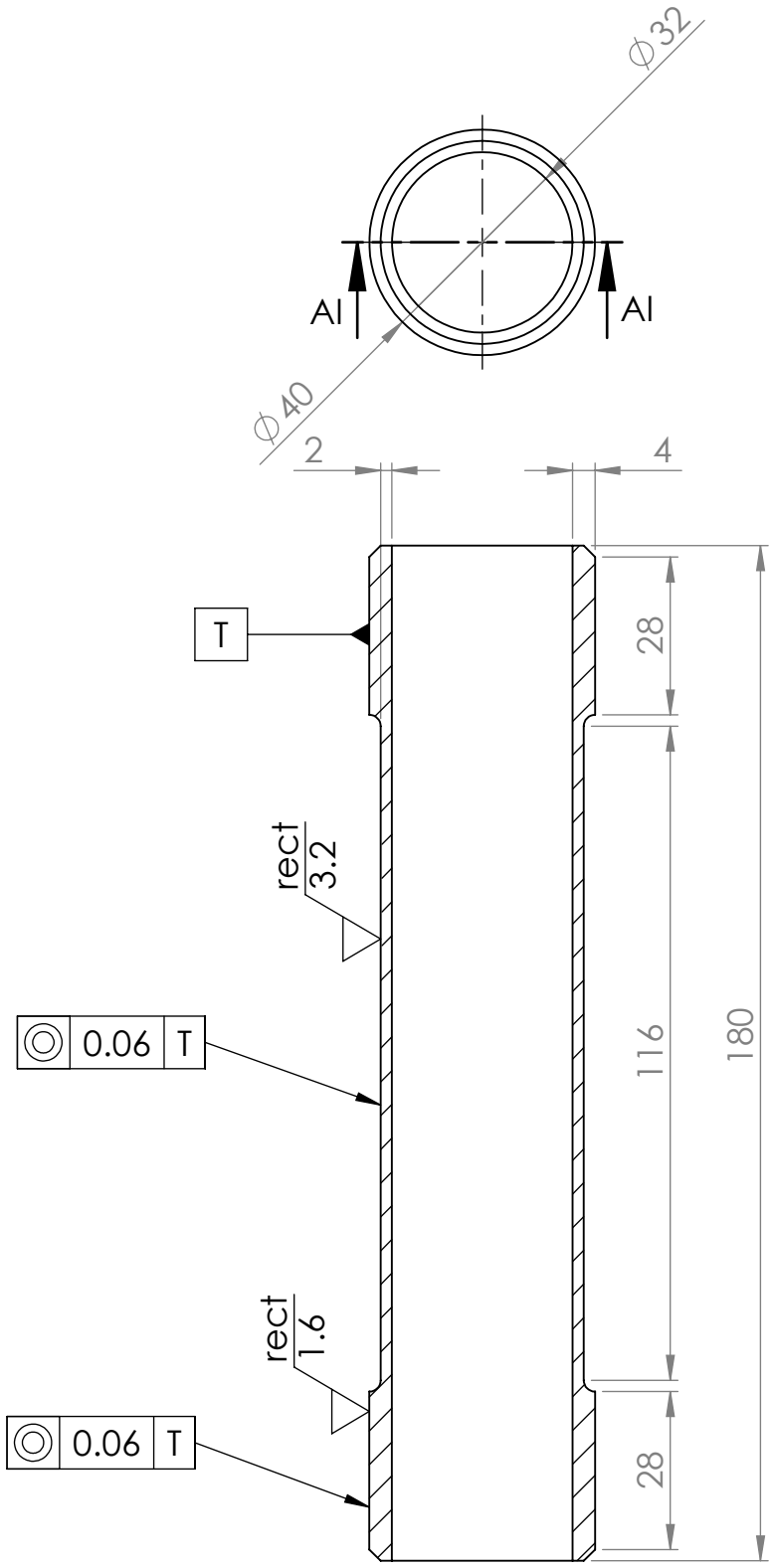


universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**Support moteur: 13**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 1:1
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	

3	23	moteur D: 23	
1	22	Support moteur: 22	
1	21	Jonction: 21	
1	20	Jonction: 20	
6	19	Roue: 19	
2	18	Tube: 18	
2	17	tube: 17	
4	16	tube: 16	
4	15	moteur servo: 15	
3	14	moteur G: 14	
6	13	Support moteur: 13	
2	12	Axe 2	
2	11	Support moteur: 11	
1	10	Support moteur: 10	
2	9	Support moteur: 09	
2	8	guide	
1	7	Couvercle de boîtier	
1	6	axe d'arbre d'equlibre	
2	5	Axe supérieur	
1	4	Jonction: 04	
1	3	Jonction: 03	
1	2	Arbre d'équilibre	
1	1	Boitier	
REP	**NB**	**DESIGNATION**	**MATIERE**

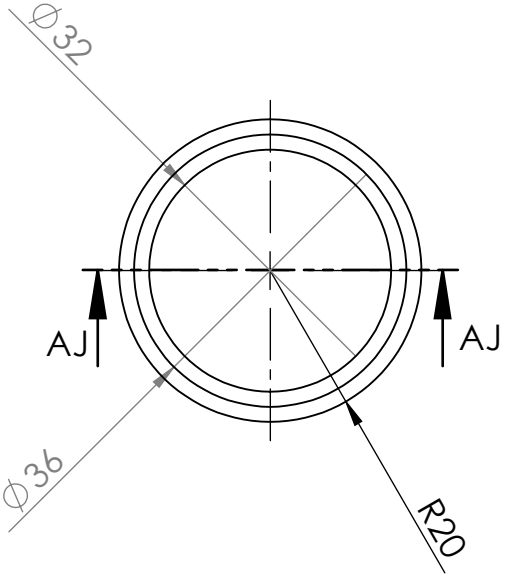
universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA

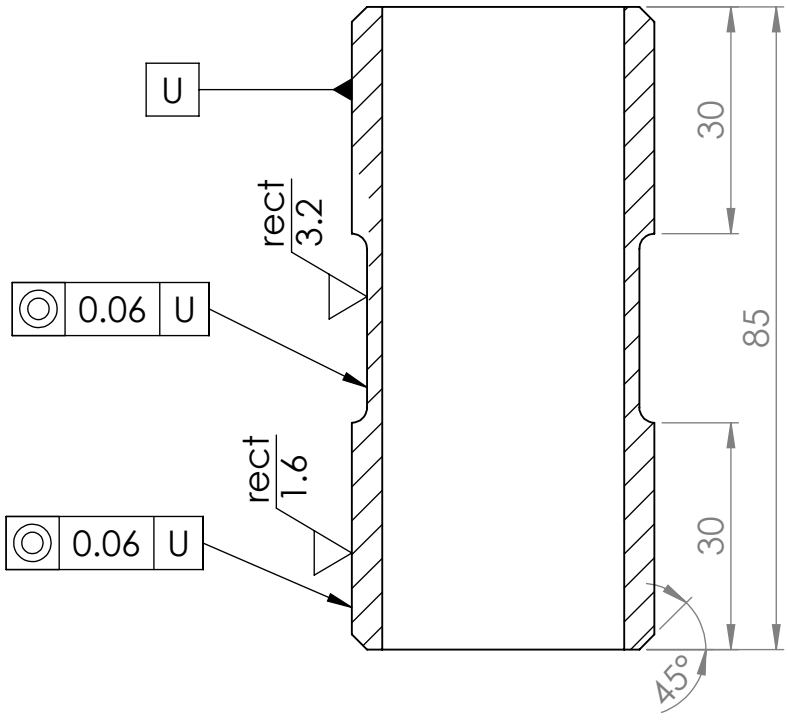
DESSIN	**A-R02**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 1:1
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	



COUPE AI-AI
ECHELLE 3 : 4

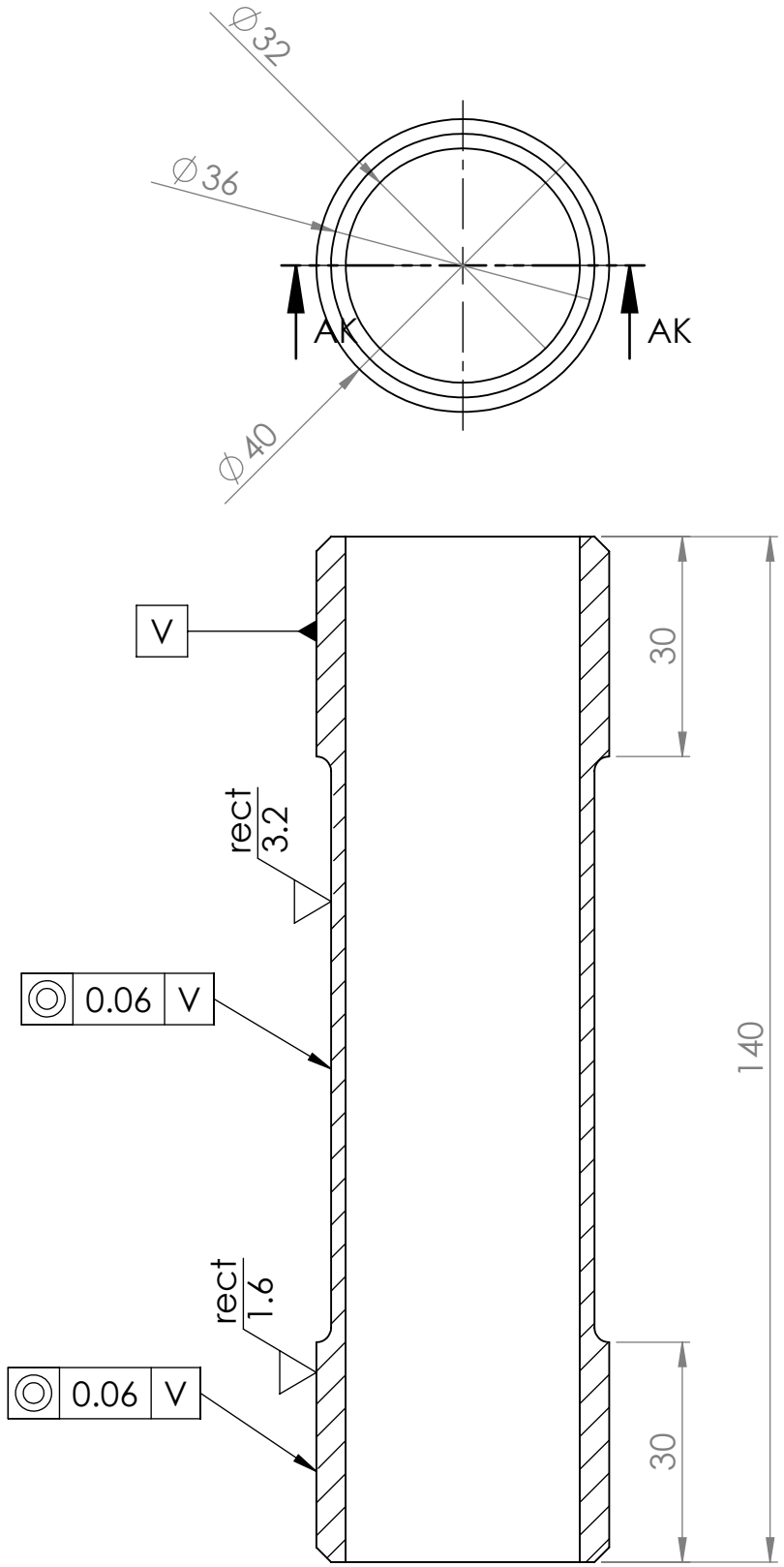
universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**Tube: 16**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 3:4
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	





COUPE AJ-AJ

universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**Tube: 17**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 1:1
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	



COUPE AK-AK

universite Dr.YAHIA Fares de MEDEA		
DESSIN	**Tube: 18**	Groupe: 01
M2 MT		Ech 1:1
25/05/2020	A.HADJAMEUR/Y.BENYAHIA	