

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Mention Électronique

Spécialité Systèmes de vision et robotique

présenté par

Kadri Youcef

&

Chemlal Abdelmalek

Conception et réalisation d'un bras articulé sur plateforme mobile

Proposé par : Boualem Kazed

Année Universitaire 2015-2016

REMERCIEMENTS

*je tiens avant tout, à remercier **ALLAH**, tout clément, tout puissant, de m' avoir donné la force de réaliser ce travail.*

*je remercie notre promoteur, le **D' B. Kazed** pour nous avoir permis de prendre part à un concours de robotique aussi motivant que passionnant et pour nous avoir proposé de réaliser notre travail dans ce cadre attrayant.*

*j' exprime ma profonde reconnaissance aux membres du **jury** pour avoir accepté de juger notre travail.*

Que tous nos professeurs qui ont contribué à notre formation trouvent ici ma plus profonde gratitude.

*j'adresse mes plus sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail, notamment a mon très cher père Mr **Kadri Hocine** pour nous avoir aidé à réaliser la partie mécanique et pour son grand soutien moral et financier, à ma très chère maman qui était plus angoissée que moi durant toute cette année universitaire ,mais qui trouvait toujours la force de me reconforter, que dieu me la garde.*

*A mes grands parents, ainsi qu'a ma fiancée **Y.Zaidi**,je dédie le plus grand des remerciements, pour leur présence, et leur très grand soutien, et surtout pour avoir cru en moi depuis de début.*

*A mon amie d'enfance **Amine Kikah** qui n'a cessé de m'encourager durant la réalisation de ce projet.*

*Enfin, je souhaite dédier ce mémoire à mes collègues et amis, **Billel djouabi, Hadjadj smail, W.Bensmail FA.Abdallah H.Boumessid R.Ouksoum, NH.Kacimi el Hassani** qui sans leur soutien, confiance et générosité, rien n'aurait été possible.*

Y.Kadri

REMERCIEMENTS

Résumés

Liste des figures

Liste des tableaux

Sommaire

Introduction générale 1

Chapitre 1

Introduction a la robotique

1.1 Introduction 3

1.2 historique 4

1.3 Les différents types des robots mobiles 5

1.3.1 Les robots marcheurs6

1.3.2 Les robots mobiles rampant6

1.3.3 Les robots mobiles à chenilles7

1.3.4 Les robots mobiles à roués8

a Robot unicycle8

b Robot tricycle8

c Robot voiture9

d Robot omnidirectionnel10

1.4 Composants d'un robot mobile11

1.5 Les capteurs11

1.5.1 Les capteurs proprioceptifs11

a Odomètres11

b Les accelerometers12

c Gyroscopes13

1.5.2 Les Capteurs extéroceptifs13

a Télémètres14

b Les capteurs de fin de course16

c Caméras.....	16
1.6 Les actionneurs.....	17
1.7 Domaine d’application de robot mobile	18
1.7.1 Environnement hostiles.....	18
1.7.2 Militaire	18
1.7.3 Industrie	19
1.7.4 Agriculture	19
1.7.5 Domaine de service	20
1.8. Conclusion.....	21

Chapitre 2

L’électronique du robot

2.1 Introduction	23
2.2 L’intelligence artificielle.....	23
2.2.1 Définition sur Arduino.....	23
2.2.2 Développement d’un projet	23
2.2.3 Logiciel.....	24
a Présentation de logiciel	24
b Explication sur logiciel	25
2.2.4 La carte Arduino Méga	26
a Définition	26
b Synthèse des caractéristiques.....	28
2.3 Carte de puissance	29
2.4 Etages de la carte de puissance.....	29
2.4.1 étage de puissance:.....	29
2.4.2 Etage de commande.....	30
2.5 Composants électrique	31

2.5.1 Source d'énergie	31
2.5.2 carte de puissance.....	31
2.5.3 Arduino	32
2.5.4 Bouton d'arrêt d'urgence	32
2.5.5 Capteurs.....	33
2.5.6 Capteur de fin de course	33
2.5.7 Servomoteurs.....	34
2.5.8 Moteurs DC.....	36
2.6 Conclusion.....	37

Chapitre 3

La mécanique du robot

3.1 Introduction	39
3.2 construction des plate-forme	39
3.3 moyen de propulsion.....	41
3.3.1 Les moteurs a courant continu	41
3.3.2 les roues.....	41
a les roues motrices.....	41
b La roue bille.....	42
3.4 Les leviers.....	42
3.5 Le bras articulé	44
3.5.1 plate-forme du bras	45
3.5.2 Opération verticale	46
3.5.3 Opération horizontale	47
3.5.4 la pince du bras	47
3.6 le parasol.....	48

3.7 Conclusion.....	49
----------------------------	-----------

Chapitre 4

Tests et essais

4.1 Introduction	51
4.2 Construction de l'environnement du robot	51
4.2.1 L'aire de jeu.....	51
4.2.2 Les zones de départ.....	52
4.2.3 Les drapeaux	52
4.2.4 La pêche en mer	53
4.2.5 Le chateau de sable	53
4.2.6 Les coquillages	55
4.3 tests et essais sur le robot	57
4.4 Conclusion.....	61
Conclusion générale	62
Bibliographie.....	63

ملخص: في مجال الروبوتات الأذرع المفضلية لها مكان بارز، لمساهماتها الجبارة في هذا المجال، ومشروعنا يتلخص في تصميم ذراع مفضلية مركبة على منصة متنقلة ، وفقا للتنظيمية Eurobot عام 2016. تم تصميم الروبوت مع ذراع مفضلية خصيصا لهذه المسابقة.

كلمات المفاتيح : ذراع مفضلية. الروبوت المتحرك. Eurobot 2016.

Résumé Dans le domaine de la robotique, les bras articulés possèdent une place prépondérante, du a leurs contributions apportées dans ce domaine, notre projet consiste a la conception et la réalisation d'un bras articulé monté sur une plateforme mobile, selon la réglementation de Eurobot 2016, un robot doté d'un bras articulé spécialement conçu pour cette compétition.

Mots clés : Bras articulé; Robot mobile; Eurobot 2016.

Abstract : : In the field of robotics, articulated arms have a prominent place, thanks to their contributions in this area, our project consists in the design and implementation of an articulated arm mounted on a mobile platform, according to regulatory Eurobot 2016, a robot with an articulated arm designed specifically for this competition.

Keywords : Articulated arm; Mobile robot; Eurobot 2016.

Introduction

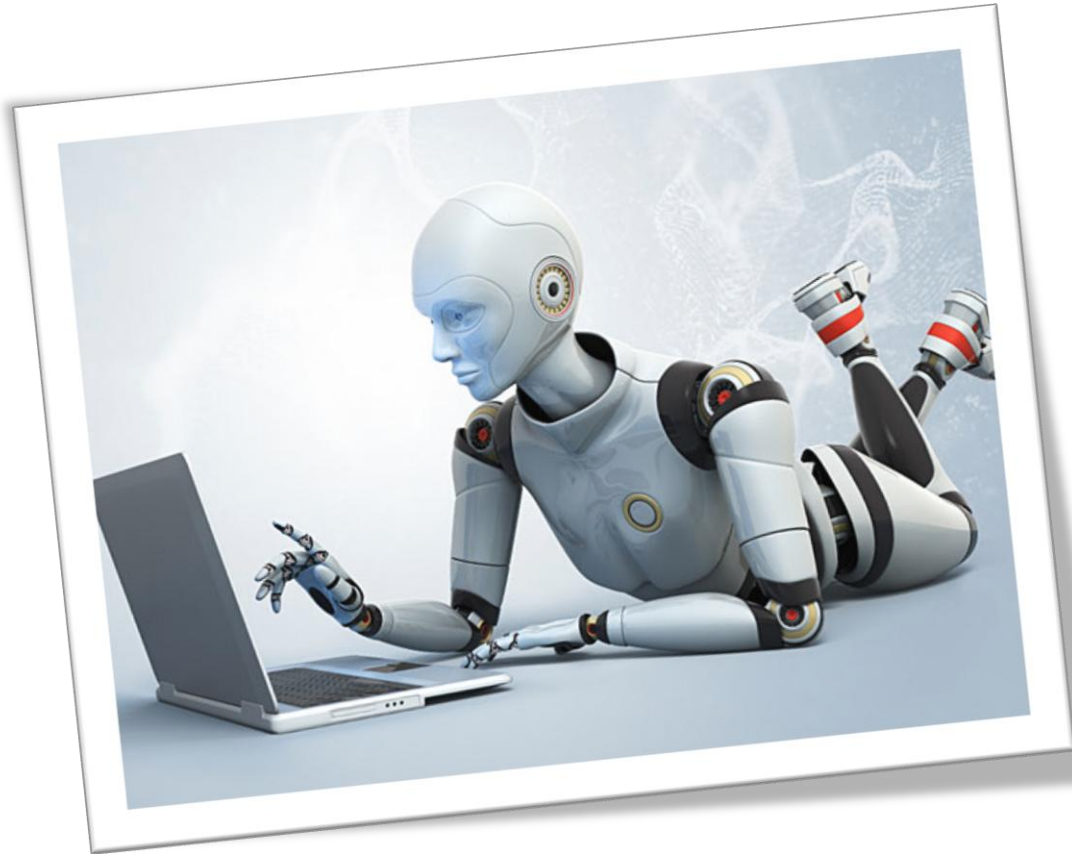
Un petit pas pour la robotique, un grand pas pour un étudiant, nous disons cela car durant nos travaux, nous avons acquis une expérience très enrichissante, qui nous laisse pleins de motivation et d'espoirs, car après des sueurs d'un travail acharné et des nuits blanches, notre projet a en fin pu voir le jour dans notre atelier, car rien de plus motivant que des efforts colossaux couronnés par un succès.

Durant ce projet de fin d'études, nous allons devoir employer des informations acquises durant des années d'études, nous allons faire appel à notre imagination, pour aboutir à un résultat concret, nous citons l'imagination, car comme l'a dit Mr Albert Einstein "Imagination is stronger than knowledge" l'imagination est plus forte que la connaissance, mais à condition bien sûr de l'accompagner avec de la science, car sans l'imagination la science ne connaîtrait une telle avancée. La science a donc besoin de scientifiques créatifs et audacieux, qui osent réaliser leurs projets, ne craignant pas d'affronter les obstacles et les périples menant à la victoire, sans audace un scientifique garderait son idée dans sa tête, n'osant pas l'exposer au grand public craignant le ridicule, la science par cette crainte stagnerait, et l'évolution serait en danger.

dans ce document nous tenterons d'exposer tout notre travail au détail près, toutes les informations employées tous les problèmes rencontrés, ainsi que les solutions et les conclusions que nous avons tirées de ce projet de fin d'études.

nous allons voir que nous avons débuter avec une idée simple et basique que nous avons en suite développée, pour aboutir à un meilleur résultat, sans trop nous attarder dans l'introduction, le vif du sujet vient dans la suite de ce mémoire.

Chapitre 1: Introduction a la robotique



Chapitre 1 INTRODUCTION A LA ROBOTIQUE

1.1 Introduction :

La robotique est la science qui s'intéresse aux robots. En fait, il s'agit d'un domaine multidisciplinaire : on y trouve des aspects concernant la mécanique, l'informatique, l'électronique.

Il existe plusieurs définitions pour décrire un robot, parmi celle-ci Webster définit un robot comme étant un "équipement ou appareil qui accomplit des fonctions normalement réservés a des humains ou bien qui opère avec une intelligence proche a celle des humains".

L'institut américain de robotique définit un robot comme suit: "un robot est un manipulateur multifonctions reprogrammable, conçu pour déplacer du matériel, des pièces, des outils ou bien des dispositifs spécialisés a travers des mouvement programmables a fin d'accomplir différents types de taches".

Le petit Larousse définit un robot comme étant: "un appareil automatique capable de manipuler des objets ou d'exécuter des opérations selon un programme fixe ou modifiable"

Pour mériter le nom robot le système doit posséder une certaine flexibilité caractérisée par les propriétés suivantes:

- L'auto-adaptabilité: Un robot doit pouvoir s'adapter a un environnement changeant au cour de l'exécution de ses taches.

- La versatilité: Un robot doit avoir la capacité de pouvoir exécuter une variété de taches, ou la même tache de différentes manières.

1.2 Historique :

Le terme de robot apparaît pour la première fois dans une pièce de théâtre RUR (Rossum's Universal Robots) de Karel Capek en 1920.

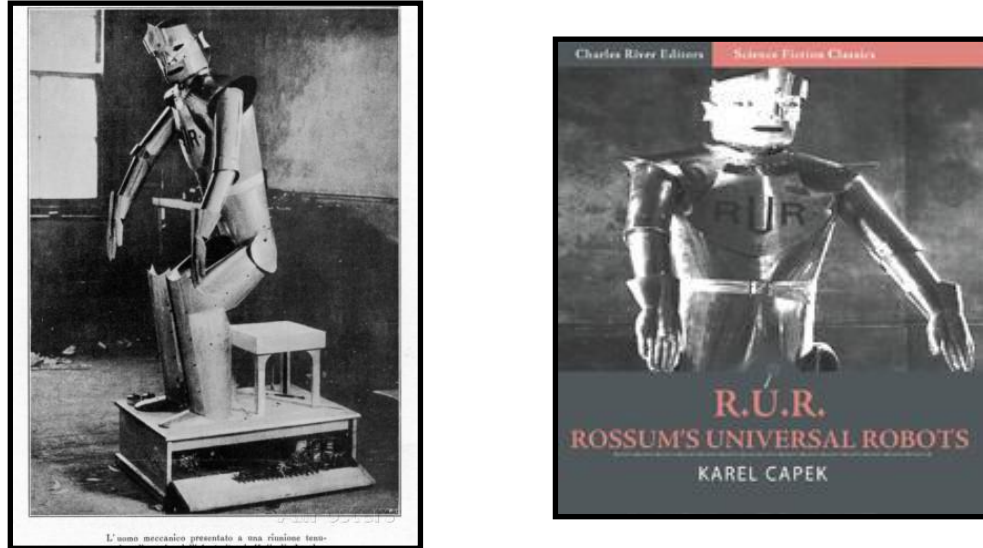


Figure.1.1. Le robot RUR.

L'origine du mot robot est issue du tchèque "robota" qui signifie travail forcé. Le terme de robotique est apparu en 1942 dans le cycle universellement connu rédigé par Isaac Asimov et intitulé "Les robots". Un robot est une machine programmable qui imite des actions d'une créature intelligente. Isaac Asimov a écrit les 3 lois fondamentales de la robotique. Celles-ci permettent d'éviter que cette science amène l'apocalypse avec elle :

- **Première loi:** Un robot ne peut porter atteinte à un être humain, ni en restant passif, laisser cet être humain exposé au danger.
- **Deuxième loi:** Un robot doit obéir aux ordres donnés par les êtres humains, sauf si de tels ordres sont en contradictions avec la première loi.
- **Troisième loi:** Un robot doit protéger son existence dans la mesure où cette protection n'est pas en contradiction avec la première ou la deuxième loi.

Les robots prennent actuellement une place importante dans notre vie. On les trouve dans toutes les entreprises pour accélérer la production ou pour agir là où l'homme ne peut travailler à cause du danger, à la maison pour aider à la cuisine et aux tâches ménagères, à la guerre, dans les services publics: hôpitaux, casernes de pompiers, la police... etc.

La robotique est devenue, en quelques années, une science importante qui ne cesse d'évoluer. Les chercheurs parviennent petit à petit à donner à des machines une intelligence artificielle. Les robots envahissent littéralement notre vie, on les trouve dans des concours, dans les films de science-fiction et dans plein d'autres domaines.

Au cours de l'histoire, 3 types différents de robots sont apparus, attestant chacun de nouvelles évolutions:

Le premier type de machine que l'on peut appeler robot correspond aux "Automates". Ceux-ci sont généralement programmés à l'avance et permettent d'effectuer des actions répétitives.

Le second type de robot correspond à ceux qui sont équipés de capteurs (les sens du robot). On trouve tout type de capteurs (température, photo électronique, à ultrasons) pour par exemple éviter les obstacles et/ou suivre une trajectoire. Ces capteurs vont permettre au robot une relative adaptation à son environnement afin de prendre en compte des paramètres aléatoires qui n'auraient pu être envisagés lors de leur programmation initiale. Ces robots sont donc bien plus autonomes que les automates.

Enfin, le dernier type de robot existant correspond à ceux disposant d'une intelligence dite "artificielle" et reposant sur des modèles mathématiques complexes tels que les réseaux de neurones. En plus de capteurs physiques comme leurs prédécesseurs, ces robots peuvent prendre des décisions beaucoup plus complexes et s'appuient également sur un apprentissage de leurs erreurs comme peut le faire l'être humain. Bien sûr il faudra attendre encore longtemps avant que le plus "intelligent" des robots ne soit égal, tant par sa faculté d'adaptation que par sa prise de décisions, à l'Homme.

En conclusion, un robot est un assemblage de plateforme mécanique et des circuits électroniques, actionneurs, et intelligence artificielle [1].

1.3 Les différents types des robots mobiles :

Dans le cadre de notre projet de fin d'étude nous nous intéressons particulièrement aux robots mobiles, qui évoluent dans leurs environnement respectifs.

1.3.1 Les robots marcheurs :

De nombreuses recherches en robotique tentent aujourd'hui de reproduire des mécanismes développés et complexes de la marche humaine ou animale.

Même sur un terrain assez régulier, les opérations sont difficiles à exécuter par un robot bipède, quadrupède ou même hexapode [2].



Figure.1.2. Robot marcheur.

1.3.2 Les robots mobiles rampant:

Ils sont utilisés dans des environnements de type tunnel ou des endroits restreints.

Les techniques utilisées ressemblent à des méthodes de locomotion des animaux rampants (comme les serpents) [2].

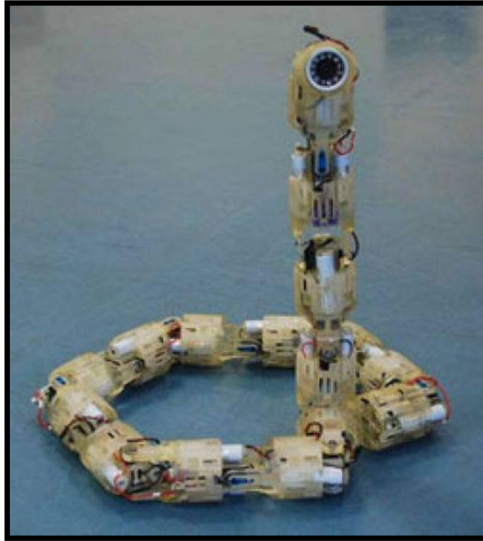


Figure.1.3. Robot rampant.

1.3.3 Les robots mobiles à chenilles:

L'utilisation des chenilles présente l'avantage d'une bonne adhérence au sol et d'une facilité de franchissement des obstacles.

Ces robots peuvent être utilisés en milieu urbain, ou dans des décombres

Ils sont capables de se déplacer facilement dans une ligne droite, mais avec une difficulté pour assurer des rotations avec précision.

L'utilisation des chenilles conduit cependant à un odomètre très bruité à cause du contact mal défini entre les chenilles et le sol [2].



Figure.1.4. Robot à chenille.

1.3.4 Les robots mobiles à roues:

a Robot unicycle:

Un robot de type unicycle 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. C'est un robot non-holonyme, en effet il est impossible de le déplacer dans une direction perpendiculaire aux roues de locomotion. Sa commande peut être très simple, il est, effectivement, assez facile de le déplacer d'un point à un autre par une suite de rotations simples et de lignes droites [4].

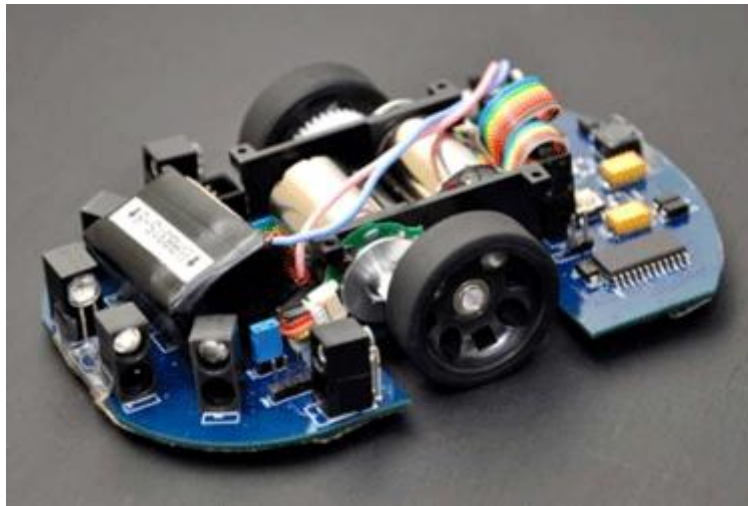


Figure 1.5. Robot a roues unicycle.

b 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.

C'est aussi un robot non-holonyme. Sa commande est plus compliquée. Il est en général impossible d'effectuer des rotations simples à cause d'un rayon de braquage limité de la roue orientable [4].

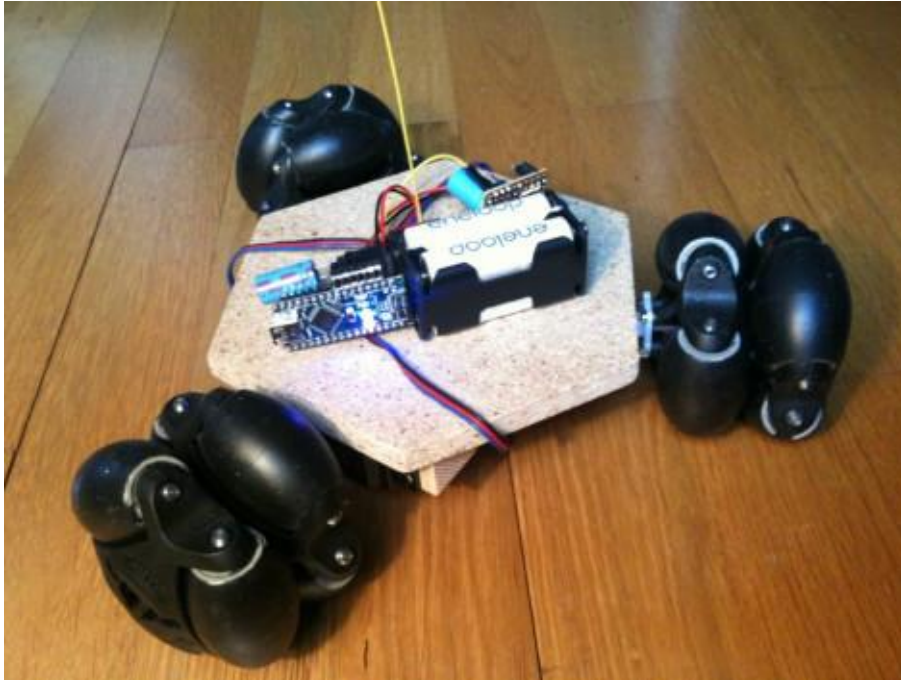


Figure 1.6. Robot a roues tricycle.

c 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 deuxième 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 [4].

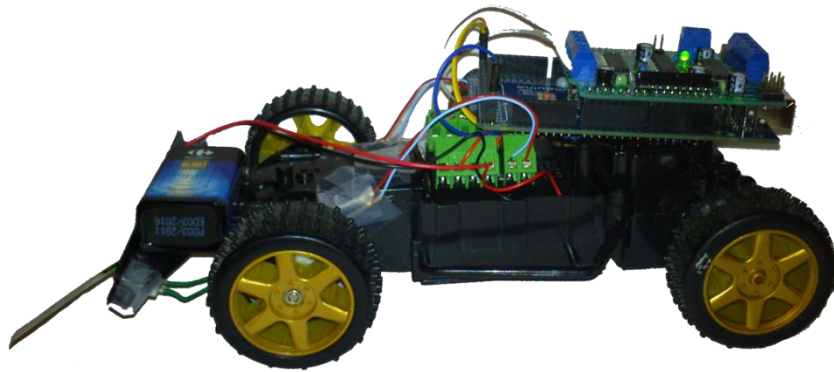


Figure 1.7. Robot voiture.

d 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 [4].



Figure 1.8. Robot holonome.

1.4 Composants d'un robot mobile:

Le concept de robot implique la faculté de perception de l'environnement, l'analyse de ces informations, la prise de décision, et enfin l'action : la mise en œuvre et la correction du comportement, en fonction des informations captées sur l'environnement. En cela, la perception de l'environnement constitue une fonction indispensable et caractéristique de tout système robotique. On distingue dans un robot mobile : la partie commande qui traite toutes les informations, les actionneurs qui effectuent les actions et les capteurs qui informent le robot. [3]

-les capteurs

-les actionneurs

1.5 Les capteurs :

1.5.1 Les capteurs proprioceptifs :

Les capteurs proprioceptifs sont installés à bord du robot et mesurent les états internes de celui-ci (la position et la vitesse des roues, l'angle de rotation, etc.).

a Odomètres:

Les odomètres sont des capteurs qui permettent d'estimer le déplacement à partir de la mesure de la vitesse et la position angulaire de l'axe des roues, les encodeurs optiques sont les plus utilisés pour effectuer la mesure de la rotation. Cet encodeur dispose sur l'axe de la roue ou sur le moteur.



Figure.1.9. Odomètre.

Le principe de fonctionnement de ses encodeurs optique, une lumière émise par une diode électroluminescente est réfléchiée par les graduations d'un disque vers une photodiode ou phototransistor qui se sature et se bloque à la cadence du défilement des graduations.

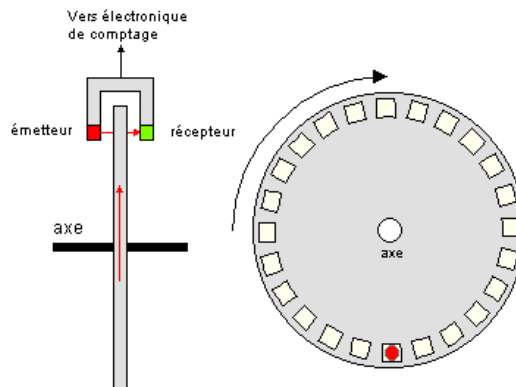


Figure.1.10. Principe de fonctionnement.

b Les accéléromètres:

L'accéléromètre est un capteur qui mesure l'accélération linéaire en un point donné. En pratique, la mesure de l'accélération est effectuée à l'aide d'une masse d'épreuve M , de masse m , reliée à un boîtier du capteur. Le principe de ce capteur est de mesurer l'effort massique non gravitationnel qu'on doit appliquer à M pour le maintenir en place dans le boîtier lorsqu'une accélération est appliquée au boîtier. Le calcul du déplacement élémentaire du système mobile est obtenu par double intégration de ces informations. Cette double intégration conduit généralement à des accumulations importantes d'erreurs. Ce capteur est plus coûteux que des odomètres.



Figure 1.11. Un accéléromètre.

c Gyroscopes:

Les gyroscopes sont des capteurs permettant de mesurer la position angulaire par rapport à un référentiel inertiel, il existe plusieurs sortes de gyroscopes : mécanique et optique, sont les plus connus, ainsi que les structures vibratoire et capacitifs.

L'image classique d'un gyroscope mécanique est un rotor suspendu par un cardan sans friction isolant le centre du rotor des couples extérieurs.

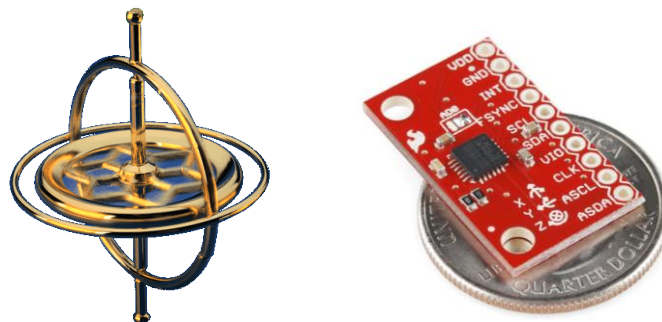


Figure.1.12. Un gyroscope

1.5.2 Capteurs extéroceptifs:

Les capteurs extéroceptifs permettent au robot de mesurer des paramètres extérieurs à partir de l'environnement dans lequel il évolue.

Ces capteurs sont nécessaires dans les domaines d'application tels que l'évitement d'obstacle, la localisation, la navigation et la modalisation d'environnements.

a Télémètres:

Les télémètres sont des capteurs qui sont utilisés pour connaître la distance qui sépare le robot par rapport à un objet ou obstacle. Il existe plusieurs technologies pour réaliser un télémètre. Les télémètres les plus utilisés dans la robotique mobile sont les suivants:

- **Télémètres à ultrason** : Les capteurs à ultrasons (ou télémètres ultrasonores) sont aujourd'hui les capteurs les plus communément employés dans les systèmes de robotique mobile autonome en raison de leurs bas prix, de leur faible consommation, de leur simplicité et de leur compacité (**Figure9**). Ils ont été exploités dans des domaines tels que la navigation, la modélisation d'environnement, l'évitement d'obstacle ou l'estimation de la position [4]. Le principe de base d'un télémètre à ultrason consiste à transmettre un paquet d'onde ultrasonique ensuite à mesurer le temps que met cette onde à revenir au capteur, après avoir été réfléchi par un objet ou obstacle. La distance de l'objet par rapport au capteur peut être calculé connaissant la vitesse de propagation du son et le temps de vol pour un aller-retour avec considération les constante de la chaleur et de gaz.



Figure.1.13. Capteurs ultrasoniques.

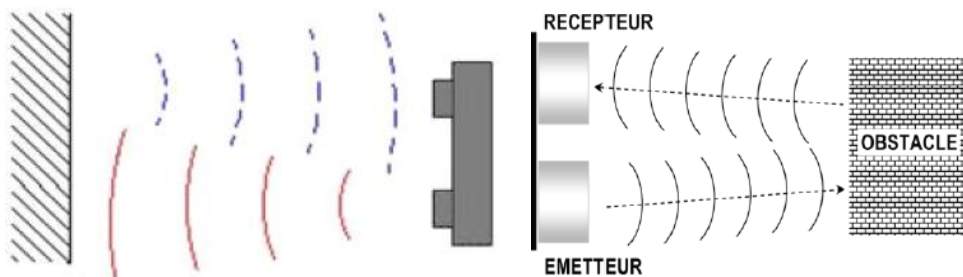


Figure.1.14. Principe de fonctionnement.

- **télémètres laser** : Les télémètres laser sont à ce jour le moyen le plus répandu en robotique mobile pour obtenir des mesures précises de distance. Leur principe de fonctionnement est le suivant: A un instant donné, une impulsion lumineuse très courte est envoyée par l'intermédiaire d'une diode laser de faible puissance. La réflexion de cette onde donne un écho qui est détecté au bout d'un temps proportionnel à la distance capteur-obstacle. La direction des impulsions est modifiée par rotation d'un miroir, l'angle de balayage couvrant généralement entre 100 et 180 degrés sur des produits commerciaux. La portée du capteur dépend de la réflectivité des milieux rencontrés, mais une valeur typique de 30 mètres est atteinte avec un télémètre de bonne qualité. Outre cette portée relativement satisfaisante pour une application de navigation à basse vitesse, les autres performances de ces capteurs en termes de précision de mesure, de résolution angulaire et de stabilité en température font d'eux les meilleurs télémètres pour la robotique mobile.
- **télémètre infrarouge**: Les capteurs ultrason et infrarouge ont le même principe de fonctionnement (émetteur-récepteur), en utilise une source lumineuse par une diode électroluminescente infrarouge. Le récepteur est une photodiode ou un phototransistor

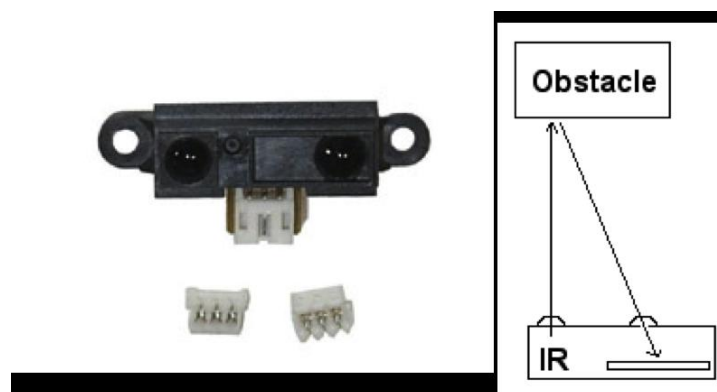


Figure.1.15. Principe de fonctionnement du télémètre infrarouge.

b Les capteurs de fin de course :

Les capteurs de fin de course sont des détecteurs sensibles au contact. Il existe plusieurs variétés de capteurs de fin de course qui peuvent avoir de nombreuses formes et différents niveaux de sensibilité. Ces capteurs sont utilisés au-devant de la base mobile pour éviter la collision avec les obstacles ou aux extrémités de course dans chaque articulations de bras mobile pour éviter qu'une articulation atteigne sa butée mécaniques.



Figure1.16. Capteur de fin de course.

c Caméras:

Les caméras sont des capteurs largement utilisés dans la robotique mobile, car elle semble proche des méthodes utilisées par les humains, en plus ces capteurs fournissent une grande quantité d'information de l'environnement à partir d'une seule acquisition . Le traitement des données volumineux et complexes fournis par ces capteurs est très souvent difficiles, pour cela on applique plusieurs méthodes et algorithmes pour le traitement d'image.

- **Caméras simples :** Une caméra standard peut être utilisée de différentes manières pour la navigation d'un robot mobile. Elle peut être utilisée pour détecter des amers visuels (des points particuliers qui servent de repère, tels que des portes ou des affiches) à partir desquels il sera possible de calculer la position du robot. Si ces amers sont simplement ponctuels, ou de petite taille, il sera en général simplement possible d'estimer leur direction. Dans le cas où les amers sont des objets connus en 2 ou 3 dimensions, il sera en général possible d'estimer complètement la position du

robot par rapport à la leur. Elle peut également être utilisée pour détecter des “guides” de navigation pour le robot, tels que des routes ou des couloirs.

- **Caméras stéréoscopiques** : Lorsque l’on dispose de deux caméras observant la même partie de l’environnement à partir de deux points de vue différents, il est possible d’estimer la distance des objets et d’avoir ainsi une image de profondeur, qui peut être utilisée pour l’évitement d’obstacles ou la cartographie.
- **Caméras panoramiques** : La caméra panoramique (omnidirectionnelle) consiste à mesurer la réflexion de l’environnement sur un miroir parabolique. La mesure ainsi obtenue est très largement distordue, mais possède l’avantage d’être omnidirectionnelle et donc de permettre une reconstruction panoramique de la scène sur 360 degrés.



Figure.1.17. Capteur CCD.

1.6 Les actionneurs :

Ce sont des mécanismes qui permettent d'exécuter une action, de convertir les commandes logicielles (Software) en des mouvements physiques ; leur but primaire est de produire assez de force pour provoquer le mouvement du robot, celle-ci représente la transformation d'une énergie source en énergie mécanique.

La Technologie des actionneurs est étroitement liée à l'énergie de base utilisée en (pneumatique, hydraulique, électrique). Il existe beaucoup d'actionneurs principalement

réalisé à base de moteur électrique, ces derniers permettent à votre robot de réagir suivant ce que vous lui avez demandé.

1.7 Domaine d'application de robot mobile :

Un robot mobile est généralement conçu pour effectuer un certain nombre de tâches que l'on peut classer en fonction du type d'environnement dans lequel évolue le véhicule, du degré de connaissance de cet environnement, de son caractère évolutif ou encore du domaine d'application pour lequel le véhicule a été conçu [3].

Le développement des recherches en robot mobile concerne un grand nombre d'applications, parmi lesquelles :

1.7.1 Environnement hostiles :

L'utilisation en milieu hostile se développe dans le domaine spatial qui s'intéresse aux problèmes d'exploration planétaire et d'intervention sur les stations. Ces robots sont utilisés aussi dans le domaine nucléaire pour la surveillance et la maintenance des centrales, l'aide à l'assainissement des sites [3].



Figure1.18. Utilisation en milieu hostile.

1.7.2 Militaire :

Les robots mobiles militaires sont des robots, autonomes ou contrôlés à distance, conçus pour la plupart dans le champ des robots d'interventions. Sont capables d'effectuer des tâches de déminage ou de destruction. De plus, certains robots sont équipés d'un armement pour évoluer en milieu hostile, dans le but de remplacer les soldats pour limiter les pertes humaines.



Figure1.19. Robot militaire.

1.7.3 Industrie :

L'utilisation des robots mobiles industriels comme des contrôles automatique reprogrammable ou remplacent l'humain dans les taches pénibles et dangereuse (robots de soudages, de peinture et d'assemblage) [4].



Figure1.20. Chaîne de montage.

1.7.4 Agriculture :

Les robots mobiles ont aussi été créés pour faciliter la vie aux humains, et leur éviter des travaux lassants et épuisants. C'est le cas d'un robot Naïo dont la principale fonction est le désherbage mécanique des exploitations maraichères. Simultanément, il peut aussi collecter des données telles que la température, pression, humidité [3].



Figure1.21. Robot agriculteur.

1.7.5 **Domaine de service :**

Un robot mobile domestique ou de service, est un robot utilisé pour des tâches ménagères, par exemple en vaisselle, en repassage, en nettoyage, etc. Ils peuvent également être utilisés dans le domaine de la restauration. Ce type de robots est très utilisé par les handicapés, pour faciliter leur vie [3].



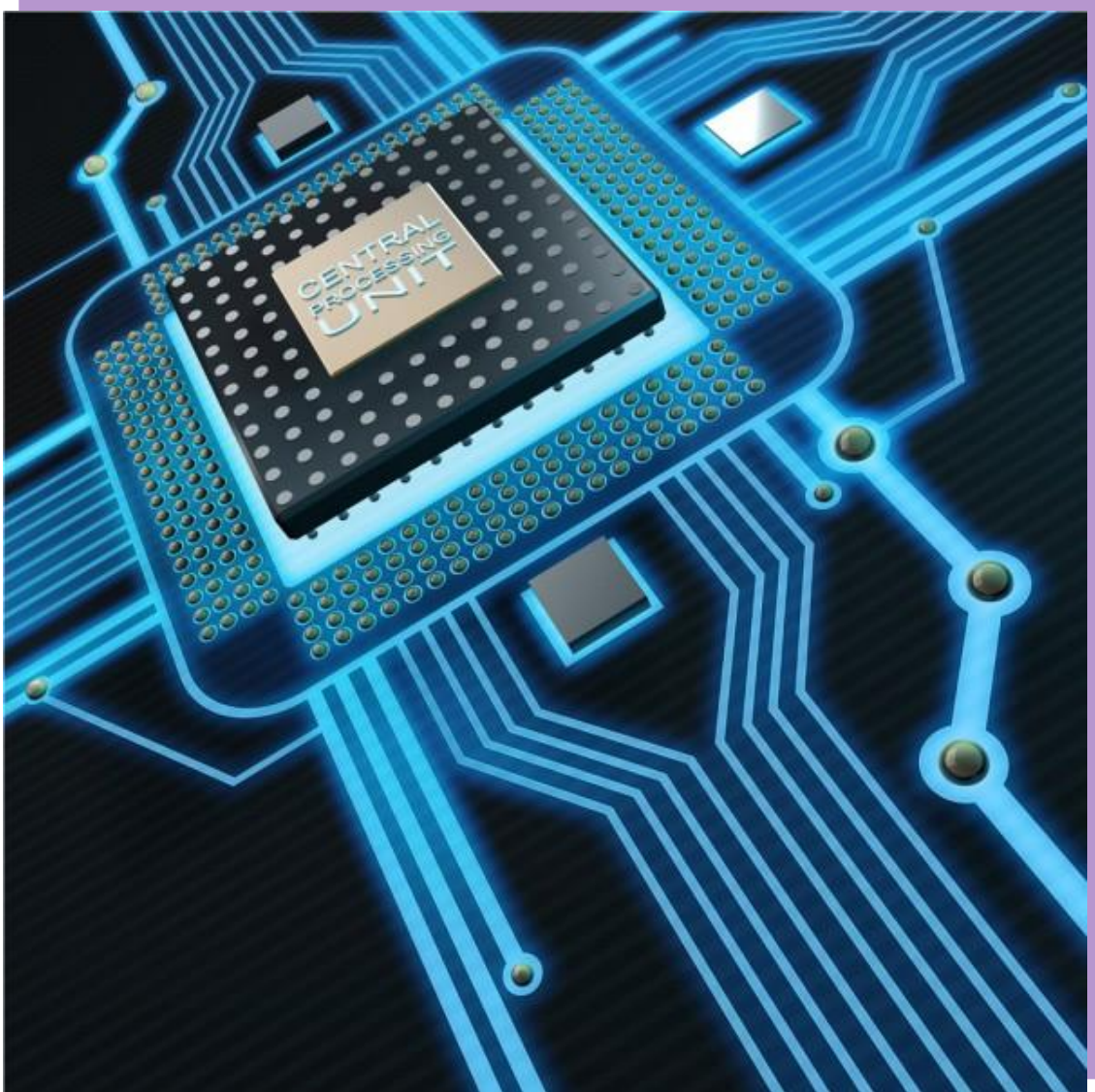
Figure.1.22. Robot Asimo de Honda.

1.8 Conclusion :

C'est en clôturant ce chapitre que nous pouvons en fin déduire que le domaine de la robotique est entrain de connaitre une expansion sans précédent, du robot marcheur au robot a roues, en passant par le robot rampant, nous avons vu que différents types de robots existent et chacun a sa propre manière d'évoluer dans son propre environnement, a chacun son rôle, chaque robot se distingue par ses points forts et ses aptitudes a évoluer dans son environnement.

D'après son rôle ou son domaine, le robot dispose de différents composants qui lui sont utiles, capteurs proprioceptif ou extéroceptifs, actionneurs, et bien sur pour lui donner son autonomie, des batteries, et une partie d'intelligence artificielle qui fera la communication et la connexion entre tout ses composants.

Chapitre 2: L'électronique du robot



Chapitre 2 L'ELECTRONIQUE DU ROBOT

2.1 Introduction

Dans ce chapitre nous nous consacrerons à la partie électronique de notre robot, au tout début nous nous focaliserons sur la partie intelligente, pour ensuite finir avec la partie puissance du robot.

2.2 L'intelligence artificielle

Nous allons tout d'abord introduire notre carte, celle qui nous a servi pour achever notre projet, nous verrons tout ce qu'il doit être pour mener à bien une compétition de robots

2.2.1 Définition sur Arduino :

Arduino est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation.

Cet environnement matériel et logiciel permet à l'utilisateur de formuler ses projets par l'expérimentation directe avec l'aide de nombreuses ressources disponibles en ligne.

Pont tendu entre le monde réel et le monde numérique, Arduino permet d'étendre les capacités de relations humain/machine ou environnement/machine.

Arduino est un projet en source ouverte : la communauté importante d'utilisateurs et de concepteurs permet à chacun de trouver les réponses à ses questions.

La carte Arduino repose sur un circuit intégré (un mini ordinateur appelé également

Microcontrôleur) associée à des entrées et sorties qui permettent à l'utilisateur de brancher différents types d'éléments externes [6].

2.2.2 Développement d'un projet :

Le développement sur Arduino est très simple :

- on code l'application : Le langage Arduino est basé sur les langages C/C++, avec des fonctions et des bibliothèques spécifiques à Arduino (gestions des e/s).
- on relie la carte Arduino au PC et on transfère le programme sur la carte,
- on peut utiliser le circuit ! [5].

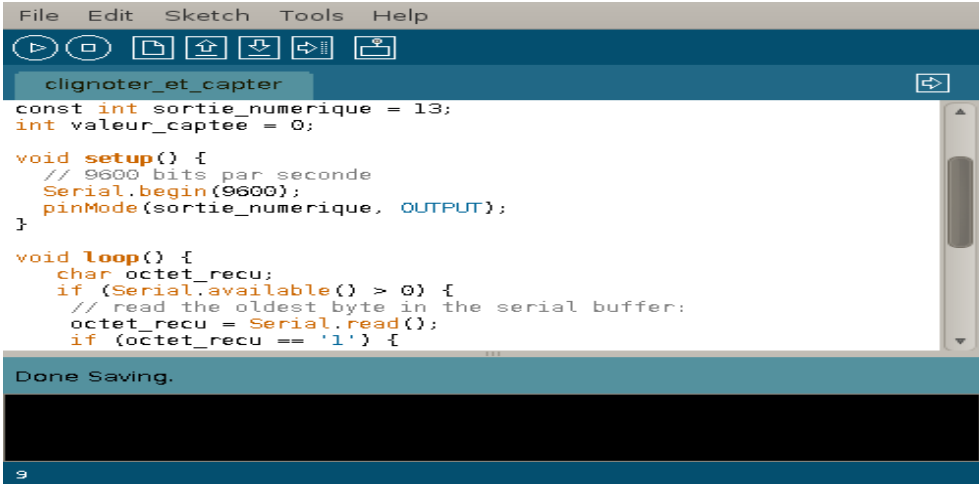
2.2.3 Logiciel :

a Présentation de logiciel :

Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application Java multiplateformes (Fonctionnant sur tout système d'exploitation), servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le firmware (et le programme) au travers de la liaison série (RS232, Bluetooth ou USB selon le module).

Le logiciel est très simple à prendre en main, il existe de très bons tutoriaux très bien faits avec même des explications en français. De très nombreux exemples sont fournis.

Les fichiers exemples sont vraiment bien documentés et permettent de coder des choses très compliquées sans trop d'efforts. Les bibliothèques fournies permettent d'utiliser des composants complexes très simplement en quelques lignes très claires [5].



```
File Edit Sketch Tools Help
clignoter_et_capter
const int sortie_numerique = 13;
int valeur_captee = 0;

void setup() {
  // 9600 bits par seconde
  Serial.begin(9600);
  pinMode(sortie_numerique, OUTPUT);
}

void loop() {
  char octet_recu;
  if (Serial.available() > 0) {
    // read the oldest byte in the serial buffer:
    octet_recu = Serial.read();
    if (octet_recu == '1') {
```

Done Saving.

Figure2.1. Logiciel Arduino.

b Explication sur logiciel :

La fenêtre d'IDE :

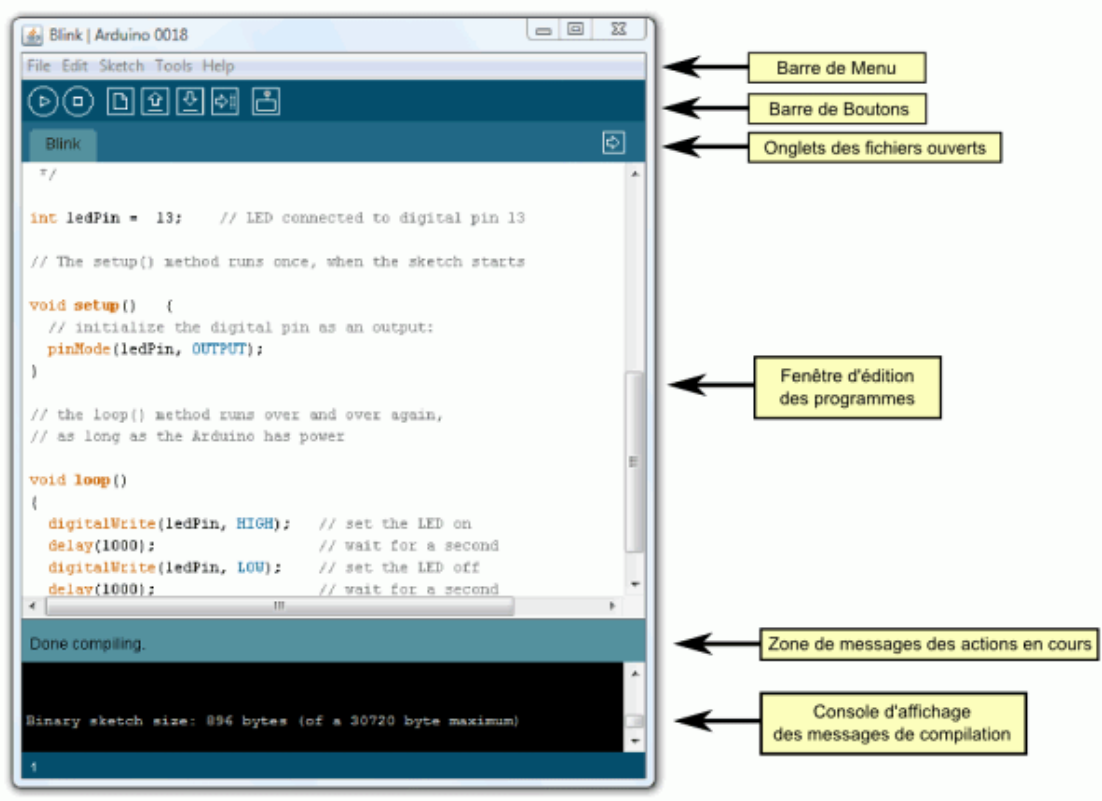






Figure2.2. L'écran principal du logiciel Arduino.

Détail de la barre de boutons :

-  **New** : pour créer un nouveau programme (sketch).
-  **Open** : ouvrir un programme existant. Le menu n'est pas déroulant à cause d'un bug...pour obtenir un menu déroulant passer par file/open
-  **Save** : sauvegarde le programme, si vous voulez le sauvegarder sous un autre nom, passer par file/Save as
-  **Serial Monitor** : pour ouvrir la fenêtre qui permet de visualiser les données transmises par le port série de l'Arduino [6].

2.2.4 La carte Arduino Méga :

a Définition :

La carte Arduino Méga 2560 est une carte à microcontrôleur basée sur un ATmega2560.

Cette carte dispose:

- de 54 (!) broches numériques d'entrées/sorties (dont 14 peuvent être utilisées en sorties PWM (largeur d'impulsion modulée)),
- de 16 entrées analogiques (qui peuvent également être utilisées en broches entrées/sorties numériques),
- de 4 UART (port série matériel),
- d'un quartz 16Mhz,
- d'une connexion USB,
- d'un connecteur d'alimentation jack,
- d'un connecteur ICSP (programmation "in-circuit"),
- et d'un bouton de réinitialisation (reset).

Elle contient tout ce qui est nécessaire pour le fonctionnement du microcontrôleur; Pour pouvoir l'utiliser et se lancer, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur à l'aide d'un câble USB (ou de l'alimenter avec un adaptateur secteur ou une pile, mais ceci n'est pas indispensable, l'alimentation étant fournie par le port USB).

La carte Arduino Méga 2560 est compatible avec les circuits imprimés prévus pour les cartes Arduino Uno, Duemilanove ou Diecimila[8].

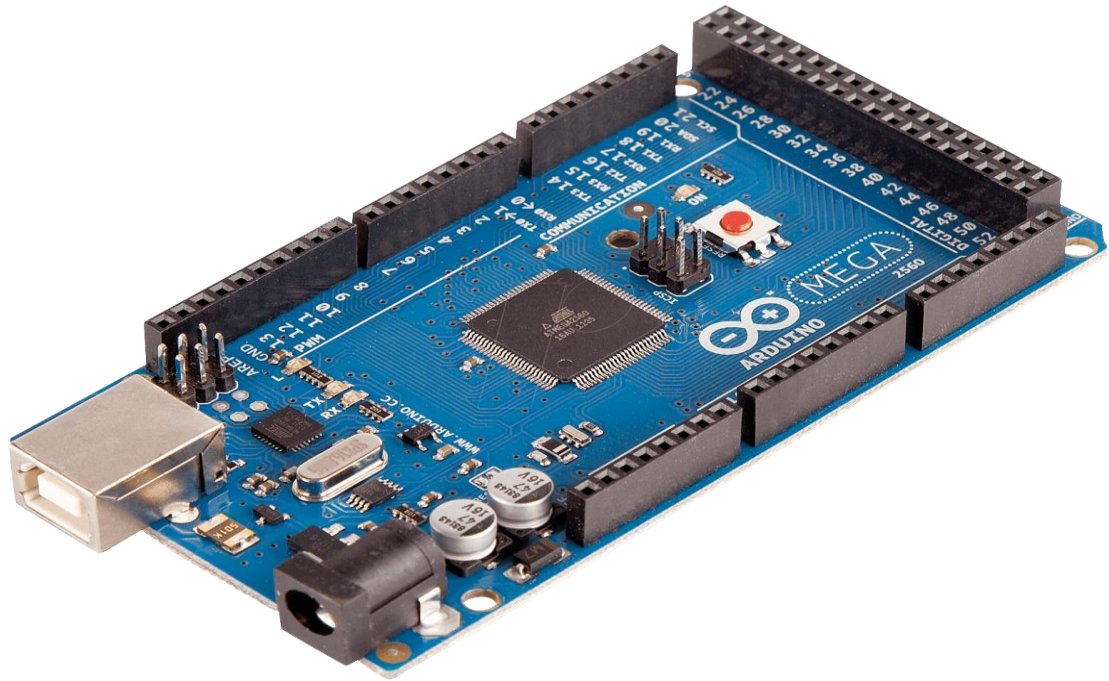


Figure2.3. La carte Arduino Méga 2560.

b Synthèse des caractéristiques :

Microcontroller	ATmega2560
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'alimentation (recommandée)	7-12V
Tension d'alimentation (limites)	6-20V
Broches E/S numériques	54 (dont 14 disposent d'une sortie PWM)
Broches d'entrées analogiques	16 (utilisables en broches E/S numériques)
Intensité maxi disponible par broche E/S (5V)	40 mA (ATTENTION : 200mA cumulé pour l'ensemble des broches E/S)
Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3V	50 mA
Intensité maxi disponible pour la sortie 5V	Fonction de l'alimentation utilisée - 500 mA max si port USB utilisé seul
Mémoire Programme Flash	256 KB dont 8 KB sont utilisés par le bootloader
Mémoire SRAM (mémoire volatile)	8 KB
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	4 KB
Vitesse d'horloge	16 MHz

Tableau2.2. Caractéristique d'Arduino méga.

2.3 Carte de puissance

Pour un robot mobile deux domaines sont appelés à être maîtrisés parfaitement la mécanique et l'électronique, nous nous baseront dans cette partie du chapitre sur ce dernier, pour tenter de montrer quels sont les éléments de base pour pouvoir espérer avoir à la fin du travail un robot qui fonctionne correctement.

la carte de puissance est l'élément de base qui servira à la fois pour l'alimentation et la traduction des signaux venant de la carte arduino vers les actionneurs présents dans le robot, car les moteurs employés dans notre robot sont puissants et débitent un courant et une tension qui sont supérieurs à ceux délivrés par la carte arduino

2.4 Etages de la carte de puissance:

Notre carte se compose de deux étages différents à fin d'assurer un bon fonctionnement du robot,

2.4.1 étage de puissance:

Cette partie est simple. nous aurons besoin de produire une tension stabilisée. Il existe pour cela des composants dédiés, les 78xx, ces derniers sont des composants à trois pattes, leur fonctionnement est très simple, ils ont entre les deux premières pattes une tension d'alimentation quelconque (supérieure à la tension de sortie désirée), ils fournissent alors en sortie une tension stabilisée égale à xx (05, 09, 12,...), pour notre cas nous avons choisi le 7805 car nous aurons besoin en sortie d'une tension de 5 volts. on a utilisé plusieurs de ces régulateurs en parallèle à fin d'avoir un courant suffisamment grand pour permettre l'alimentation de chaque actionneurs et capteurs présents sur notre plate forme mobile, nous avons également branché des condensateurs de découpage comme conseillé dans leur datasheet.

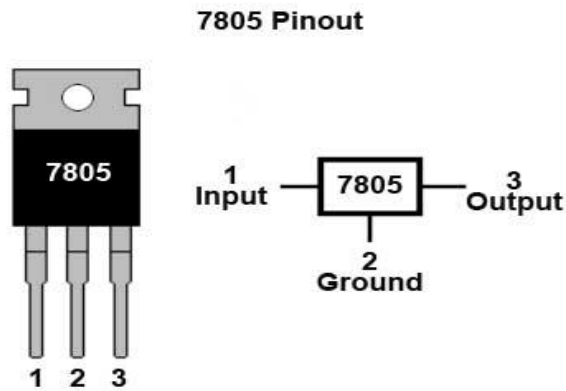


Figure 2.4. Le régulateur 7805.

2.4.2 Etage de commande :

Cette partie est dédiée a la commande des moteurs de propulsion, la carte devra leur fournir une tension comprise entre 5 et 12 volts, elle recevra donc des signaux de la carte arduino et traduira ces signaux grâce au circuit intégré qu'on a utilisé, qui est le L6203 qui va commander la vitesse des actionneurs et leurs directions, l'avantage avec ce circuit, c'est qu'il intègre les diodes de roues libre, mais contrairement a d'autres comme le l298 il aura besoin d'avantage de condensateurs et de résistances.



Figure 2.5. le circuit L298.

2.5 Composants électrique :

2.5.1 Source d'énergie :

Pour l'alimentation du robot on a choisie une batterie de 12 volts, et de courant de 7 Ampères, placée a la base de la plate-forme,



Figure 2.6. batterie 12V.

2.5.2 carte de puissance

La carte qu'on a entrepris de fabriquer a deux fonctions principales. Tout d'abord, elle doit fournir a la carte arduino, et aux servomoteurs leur tension d'alimentation (0/5V stabilisée). En suite elle doit alimenter les moteurs qui permettent au robot de se déplacer. Elle reçoit donc des signaux de commande via la carte arduino, et produit une tension d'alimentation stabilisée et 2 tensions pour la commande des moteurs (comprises entres 0 et 12 volts).

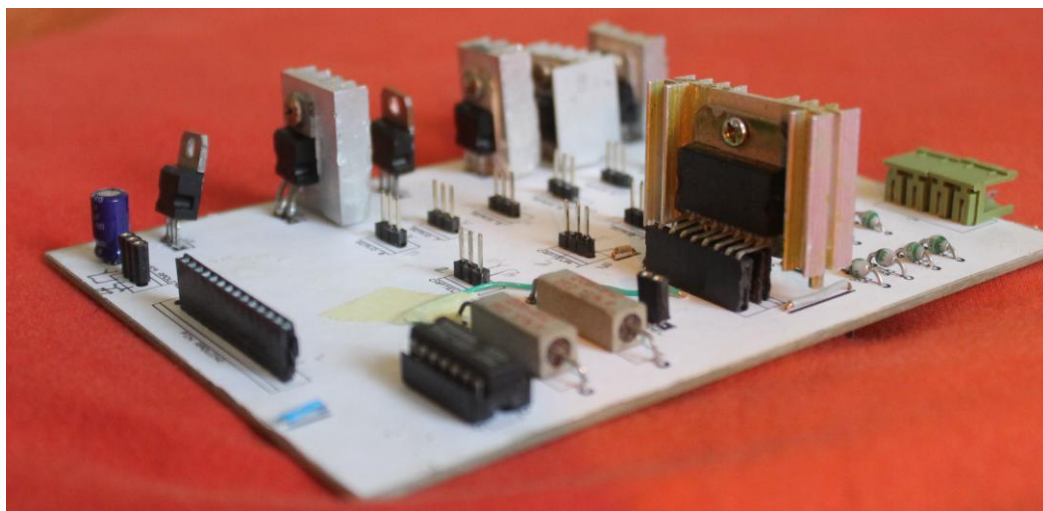


Figure 2.7. carte de puissance.

2.5.3 Arduino

Arduino est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs a usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation.

Cet environnement matériel et logiciel nous permettra donc d'arriver a bout de notre projet car il est ce qu'on appel un pont tendu entre le monde réel et le monde numérique. Et c'est ce qui nous a permis de communiquer facilement avec notre robot, grâce a ses nombreuses pines d'entrées/sorties en PWM nous avons pu atteindre une parfaite précision pour la commande de chaque moteurs et la lecture des information collectées par les capteurs utilisés infrarouge ou ultra-sons.

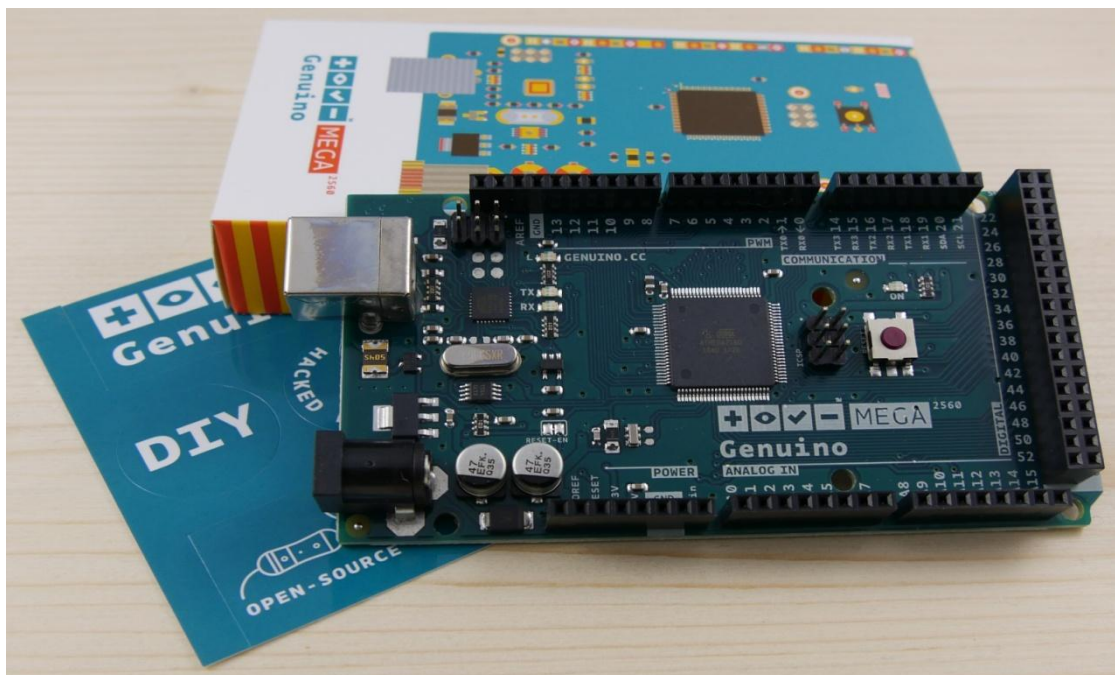


Figure 2.8. Carte arduino méga.

2.5.4 Bouton d'arrêt d'urgence

Le bouton d'arrêt d'urgence a était installé selon le cahier des charges fourni, ce bouton rouge est bien visible sur le robot, il permettra de couper l'alimentation instantanément dé qu'on presse dessus.



Figure 2.9. Bouton d'arrêt d'urgence.

2.5.5 Capteurs

dans notre robot nous avons utilisé deux capteur, le premier est a ultra-sons il permettra au robot de calculer la distance entre lui et un obstacle et de freiner si ce dernier est trop proche. Le second est a infrarouge nous l'avons installé sur la pince du bras pour que si il détecte un objet entré dans l'espace de fermeture de la pince, cette dernière se refermera sur l'objet, et donc l'attrapera.

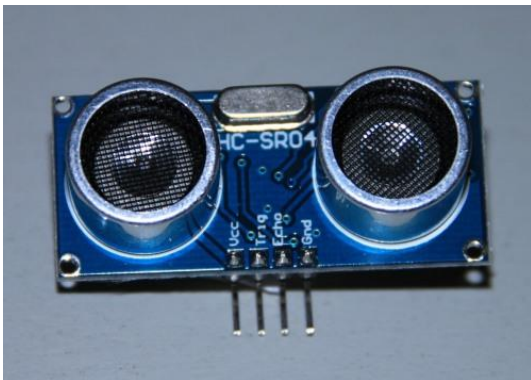


Figure 2.10. Capteur ultrason.



Figure 2.11. Capteur infrarouge.

2.5.6 Capteur de fin de course

En vérité, nous avons utilisé ce capteur a fin de commencer la course du robot, car la nature de ce capteur et normalement fermé, donc nous avons ouvert le circuit d'alimentation grâce a un isolant placé entre les 2 bornes du capteurs, et attaché a un fil de 50 Cm, pour commencer la course, nous devons tirer sur ce fil qui enlèvera le conducteur et par la suite les deux bornes se raccorderons en provoquant l'alimentation du robot.

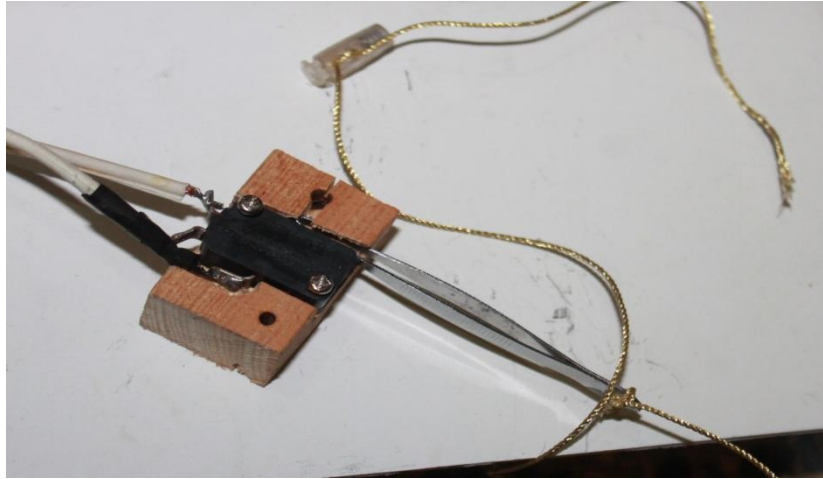


Figure 2.12. Capteur de fin de course.

2.5.7 Servomoteurs

Un servomoteur (souvent abrégé en « servo », provenant du latin servus qui signifie « esclave ») 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. C'est donc un système asservi.

Le terme servomoteur désigne également de manière abusive le pré-actionneur, la plupart du temps pneumatique (système membrane/ressort), plus rarement hydraulique ou électrique d'une vanne de régulation. Dans ce cas l'asservissement de position est toujours effectué par un organe distinct nommé positionneur.

Un servomoteur est un système motorisé capable d'atteindre des positions prédéterminées, puis de les maintenir. La position est : dans le cas d'un moteur rotatif, une valeur d'angle et, dans le cas d'un moteur linéaire une distance. On utilise des moteurs électriques (continu, asynchrone, brushless) aussi bien que des moteurs hydrauliques. Le démarrage et la conservation de la position prédéterminée sont commandés par un système de réglage, qui est dans notre cas la carte arduino.

Nous avons, dans notre robot utilisé sept servomoteurs, de trois types différents, nous les avons choisis selon leurs fonctions, le premier qui a la charge de contrôler le bras de le lever puis de l'étendre doit être assez puissant nous avons donc choisis le MG996R qui a la possibilité de lever 9.4 Kg selon son datasheet, le second qui est encore plus puissant mais un peu plus volumineux a la capacité de lever 19.8 Kg sa référence est la suivante HS-805BB, puis le 3eme type qui est le moins puissant car il ne devra porter aucune charge lourde, c'est le SG90 il pèse 9g il ne peut porter une charge de plus de 1.8 Kg, il aura pour simple tâche de

refermer la pince du bras et de faire descendre les deux leviers du robot, qui vont contenir les cubes a fin que le robot puisse les déplacer sans les perdre en route.



Figure 2.13. Servomoteur SG90.



Figure2.14. Servomoteur MG996R.



Figure 2.15. Servomoteur HS 805BB.

2.5.8 Moteurs DC

Pour la propulsion de notre robot nous avons opté pour les moteurs a courant continu de la marque MFA la série 940D, cette série de motoréducteurs est basée sur le moteur a courant continu RE-385 (8.0W).

Ils présentent l'avantage d'un format très réduit (32 mm de diamètre) et d'un poids faible est sortant sur **un** axe de 6 mm de diamètre tout en étant capable de transmettre un couple élevé.



Figure 2.16. Moteur DC MFA-940D.

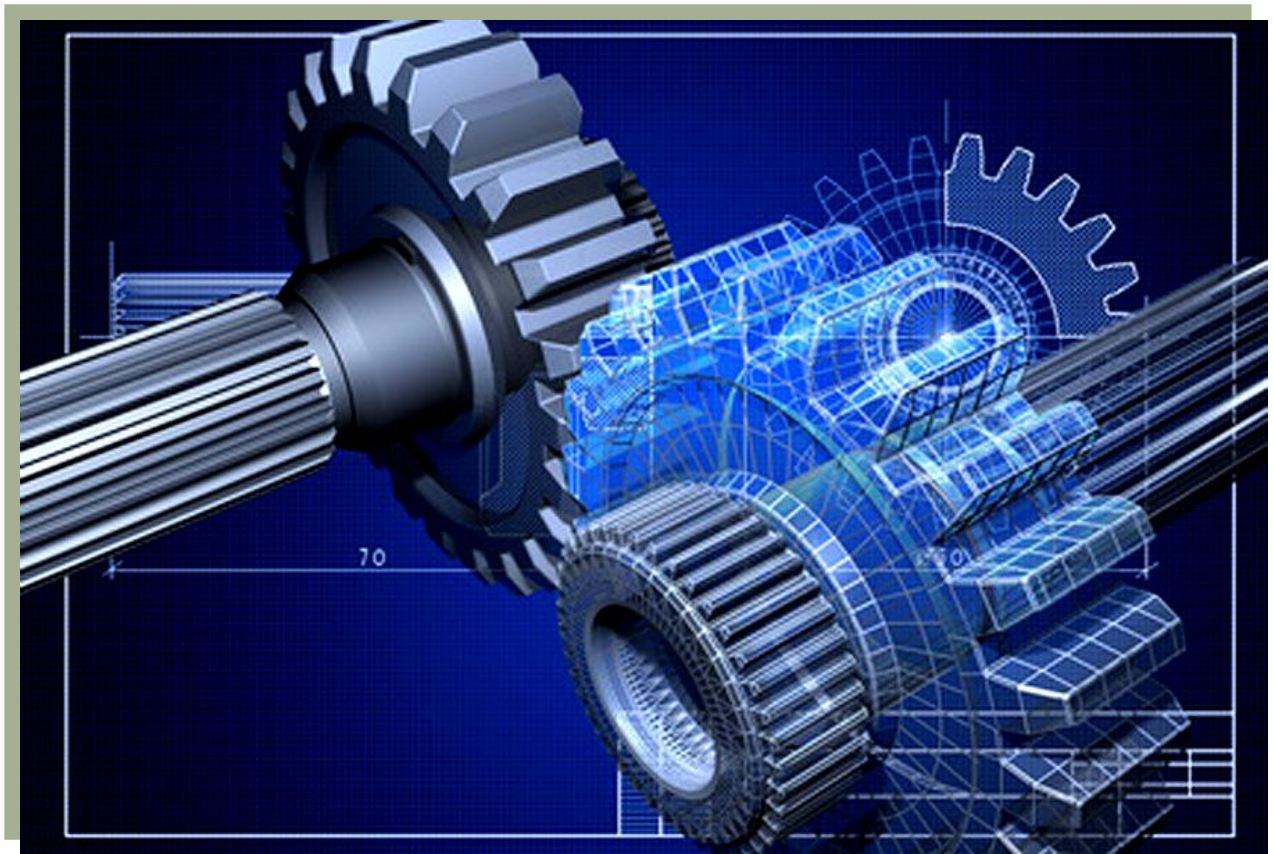
2.6 Conclusion

Quelle conclusion pourrions nous donner a un chapitre qui étudie l'électronique, notre fin mot serait surement influencé par des sentiments subjectifs, car c'est notre amour en vers l'électronique qui nous a poussé a cette magnifique expérience, nous dirons tout de même que c'est tout un monde, et son exploration n'aboutira jamais vers une fin, chaque expérience nous poussera vers une autre, ouvrant a travers elle de nouvelles trajectoires vers d'autres horizons, nous somme fières aujourd'hui d'avoir pu réaliser quelque chose de palpable, une carte électronique conçue spécialement pour notre robot, nous avons pu sortir du monde de la simulation vers le monde de la pratique réelle, ce n'était surement pas une tache des plus faciles, mais une motivation nourrissait nos esprits, au moment ou nous avons finis la conception et nous avons testé la carte qui fonctionnait a merveille, la satisfaction était au rendez-vous, car bien des nuits blanches ont étaient passées sur sa création.

La programmation sur la carte de commande est l'un des principaux éléments de la robotique, car même avec une électronique et de la mécanique, sans programme, un robot n'a pas lieu d'être, car dans la robotique, un minimum d'intelligence artificielle est requis.

Garce a notre carte de commande nous avons pu faire la connexion entre la mécanique et l'électronique pour donner naissance a notre robot, c'était le fruit de sacrifice et d'acharnement au travail, et l'aboutissement d'un projet qui quelques mois auparavant nous semblait irréalisable.

Chapitre 3: La mécanique du robot



Chapitre 3 LA MECANIQUE DU ROBOT

3.1 Introduction

L'application du robot, déterminera ses dimensions sa forme, ainsi que les mécanismes employés dans ce dernier, pour la conception de notre robot, un cahier des charges nous a été remis afin de préciser la dimension exacte à ne pas dépasser lors de sa construction.

Les moteurs utilisés ont été soigneusement choisis par rapport à leur application dans le robot, en effet certains auront besoin d'un couple supérieur que d'autres, et il y aura des moments où on aura besoin de plus petits servomoteurs et de leurs emplacements, et de leur légèreté.

Nous verrons aussi que le matériau doit être choisi avec précaution car une solidité est requise, mais aussi une légèreté maximale pour économiser l'énergie et fluidifier le mouvement du robot.

3.2 construction des plate-forme

Durant sa construction, notre robot a subi de multiples transformations, tout d'abord le forex était le tout premier matériau choisi, car sa légèreté le rendait plus rapide, mais très vite nous nous sommes rendu compte qu'il était trop souple, et il subissait une déformation aussi tôt qu'il tamponnait quelque part. En suite nous avons opté pour l'alucobonde pour sa rigidité ainsi que pour son poids qui est plus au moins léger par rapport à d'autres aciers, en suite le choix de la forme du robot était crucial, car un dimensionnement maximal était exigé, et en aucun cas le robot devait dépasser un périmètre et une hauteur précis.

Au début une forme ovale puis totalement ronde et à la fin rectangulaire, le robot a subi des transformations, qui nous ont permis à la fois de tester toutes les possibilités qui nous étaient offertes, mais aussi d'optimiser le rendement du robot.

Plusieurs étages ont été construits lors de la conception du robot, le premier dédié à l'emplacement de la batterie, car son poids qui est conséquent, elle devait être située le plus proche du sol possible pour ne pas déstabiliser le robot lors de son déplacement, mais aussi elle devait être située au centre car un mauvais emplacement

entraînerait des virages imprévus qui fausseront la trajectoire du robot. Le second qui est le principale comporte les deux moteurs propulseurs, le pare-choc le servomoteur du parapluie et les deux servomoteurs des deux leviers situés à l'avant du robot, à l'arrière un étage va supporter le bras articulé du robot, cet étage sera mobile, grâce à un servomoteur et à un engrenage que nous avons fabriqué, nous pouvons faire la rotation du bras de 400°. Un autre étage qui est au sommet de tout les autres étages, il va accueillir les cartes de commande et de puissance ainsi que le bouton d'arrêt d'urgence.

Nous avons pu constater aussi que le châssis devait être isolant car un court-circuit est vite arrivé et l'endommagement des cartes sera engendré par ce dernier.



Figure 3.1. Première plate-forme.

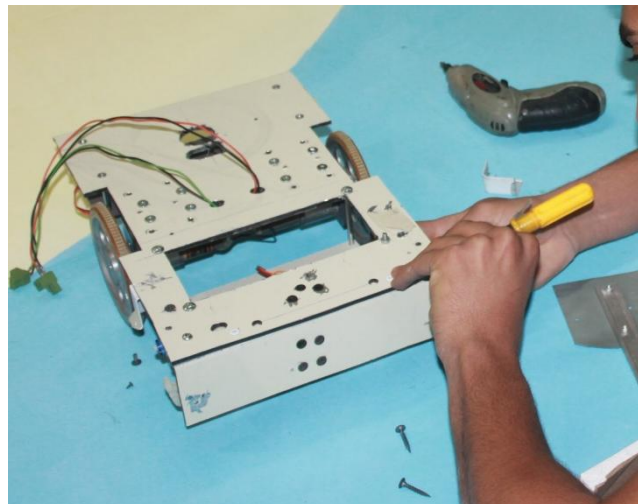


Figure 3.2. Construction de la plate-forme principale.

3.3 moyen de propulsion

L'un des moyens de locomotion les plus répandus dans le monde de la robotique est celui des roues, et c'est celui que nous avons adopté pour faire marcher notre robot dans

son environnement, nous tenons à préciser qu'il n'est pas holonome, donc deux moteurs à courant continu et des roues, tout ce qu'il y a de plus simple.

3.3.1 Les moteurs à courant continu

Conçu pour les applications industrielles et modèles lourds, cette unité robuste bénéficie d'une haute qualité puissante, cinq pôles avec moteur paliers en bronze fritté. Le réducteur métallique incorpore un roulement à manches, permettant le transfert de couple élevé du moteur

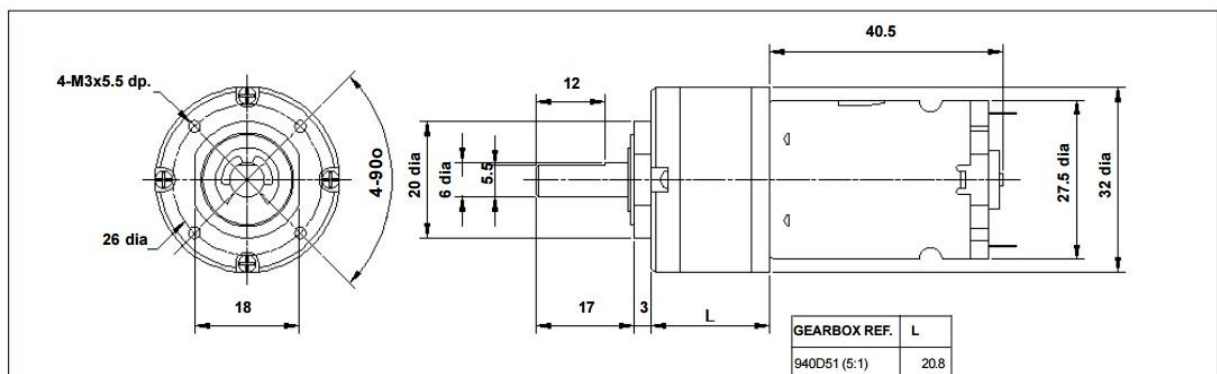


Figure 3.3. Dimension du motoréducteur MFA 940D.

3.3.2 les roues

a les roues motrices

Les roues sont le moyen de locomotion le plus répandu en matière de robotique mobile.

En fait, les robots mobiles à roues sont faciles à réaliser et présentent de grandes possibilités de déplacement et de manœuvrabilité avec une vitesse et une accélération importantes. Bien évidemment, pour un ensemble donné de roues, toute disposition ne conduit pas à une solution viable. Un mauvais choix peut limiter la mobilité du robot ou occasionner d'éventuels blocages. Par exemple, un robot équipé de deux roues fixes non parallèles ne pourrait pas aller en ligne droite. Pour qu'une disposition de roues soit viable et n'entraîne pas de glissement des roues sur le sol, il faudrait qu'il existe pour toutes ces roues un unique point de vitesse nul autour duquel tourne le robot de façon instantanée.

En général, les robots mobiles à roues ont des structures à locomotion différentielle. le déplacement est assuré par le biais de deux moteurs d'entraînement indépendants, chacun d'eux est relié à une roue motrice.[9]

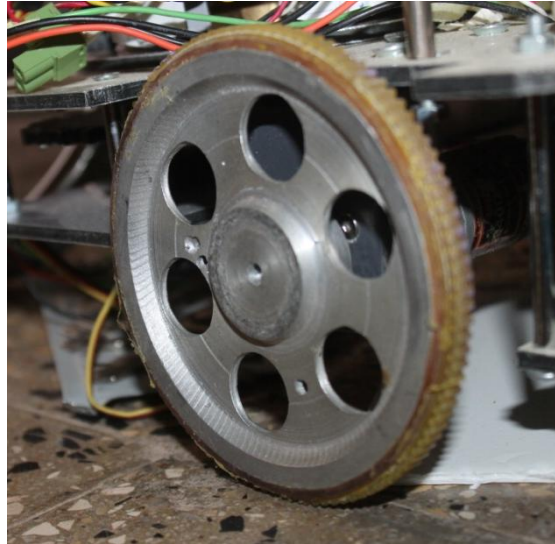


Figure 3.4. Une des deux roues motrices.

b La roue bille:

Le point d'appui des roues motrices n'étant pas suffisant pour assurer un bon équilibre de notre robot. Nous avons décidé d'installer une roue bille a l'avant du robot. Vu la caractéristique de cette roue, qui va dans tout les sens, elle facilitera le déplacement du robot, si on veut le faire tourner sur lui même ou sur un point quelconque. donc cette roue n'aura qu'un seul rôle, qui est celui de maintenir le robot stable.



Figure 3.5. La roue bille.

3.4 Les leviers

Pour la compétition de Eurobot, il nous a été demandé de déplacer des cubes d'un emplacement à un autre en faisant dans le parcours des rotations des lignes droites et des virages, donc pour assurer le maintien de ces cubes au sein du robot nous avons dû mettre en place un système de leviers qui descendront et attraperont les cubes, et les feront tourner au début puis les déplaceront vers la zone de construction.

Ces leviers seront actionnés par des servomoteurs, dès que le robot sera en face des cubes deux servomoteurs feront baisser les deux leviers positionnés à l'avant du robot, l'un à droite et l'autre à gauche, qui joueront le rôle d'une pince pour maintenir les cubes en place durant les phases de rotations ou les virages.

Comme nous avons utilisé de petits servomoteurs, il était nécessaire de bien choisir le matériau à utiliser pour la fabrication de ces leviers, donc un compromis a été établi entre la légèreté et la rigidité, car trop lourd, le servomoteur ne réussirait pas à faire la rotation pour abaisser le levier, et trop souple, le levier se plierait et casserait sans doute dès que le robot fera sa première tentative de rotation des cubes.

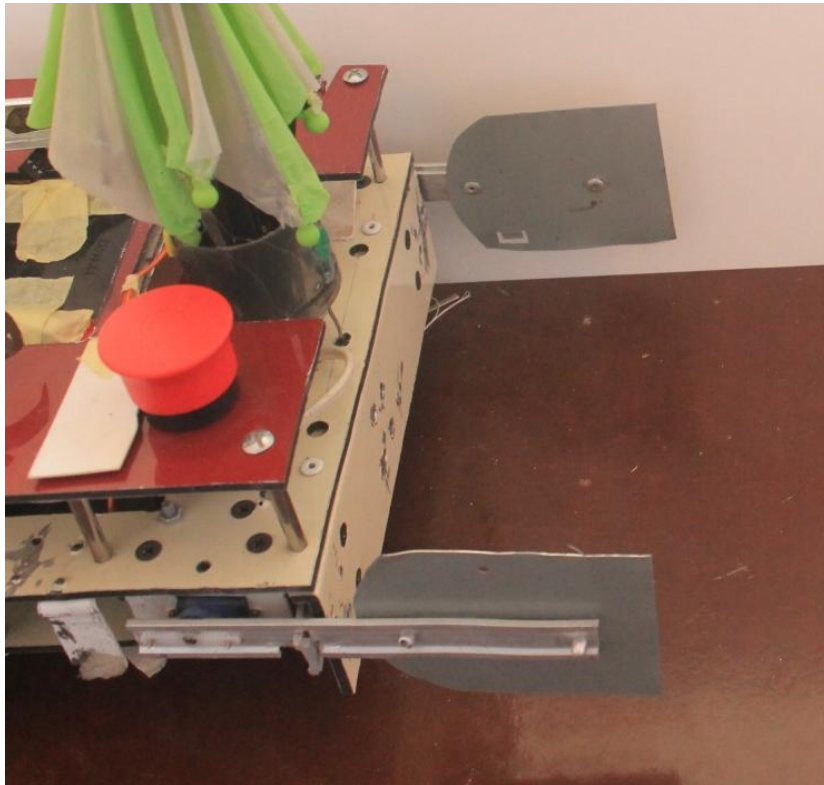


Figure 3.6. Les deux leviers à l'avant du robot.



Figure 3.7. Le robot prenant en sa possession les cubes.

3.5 Le bras articulé

De nos jours, l'utilisation des machines dans l'industrie ou la recherche est de plus en plus importante. En effet, l'automatisation des systèmes permet une conception plus rapide et plus sur. Dans la recherche, on remarque de la même manière que l'utilisation de la robotique augmente, car celle-ci permet de manipuler avec beaucoup de précision divers produits ou objets, neutre ou dangereux. Les bras mécaniques peuvent aussi permettre à l'homme de ne pas répéter à longueur de journée un même mouvement. Imaginez-vous en train de visser des bouchons sur des bouteilles durant toute la journée. Heureusement que des machines puissent faire ce travail à notre place. De plus, les bras robotisés tentent de remplacer l'homme pour exécuter des tâches nuisant à la santé de celui-ci, comme par exemple peindre des voitures, car cette peinture contient des produits dangereux pour l'homme sur tout en les inhalant.

Et pour notre cas le robot doit être autonome, et doit commettre des actions sans l'intervention de l'opérateur humain, pour gagner le maximum de points dans la compétition. La problématique est donc la suivante: comment réaliser notre bras et comment faire pour que celui-ci soit parfaitement autonome?

Notre bras, qui au début n'a été conçu que pour la pêche, a été ensuite développé pour attraper des coquillages et les transporter jusqu'à la serviette, doté d'une pince à la fin,

et grâce a sa plate-forme rotatif, et de deux bras de leviers, nous avons réussi a concevoir un bras a trois degrés de liberté parfaitement opérationnel.

comme pour la plus part des pièces de notre robot, le choix du matériau est crucial, légèreté et rigidité, donc a l'aide d'une balance électronique pour une plus grande précision, nous avons du nous procurer plusieurs échantillons, et les peser un a un, et a la fin, juste après avoir construit le premier modèle en plastique, qui n'était pas vraiment solide, nous avons opté pour une le l'aluminium a la fois légère et solide, qui nous a permis de construire le bras final monté sur le robot.

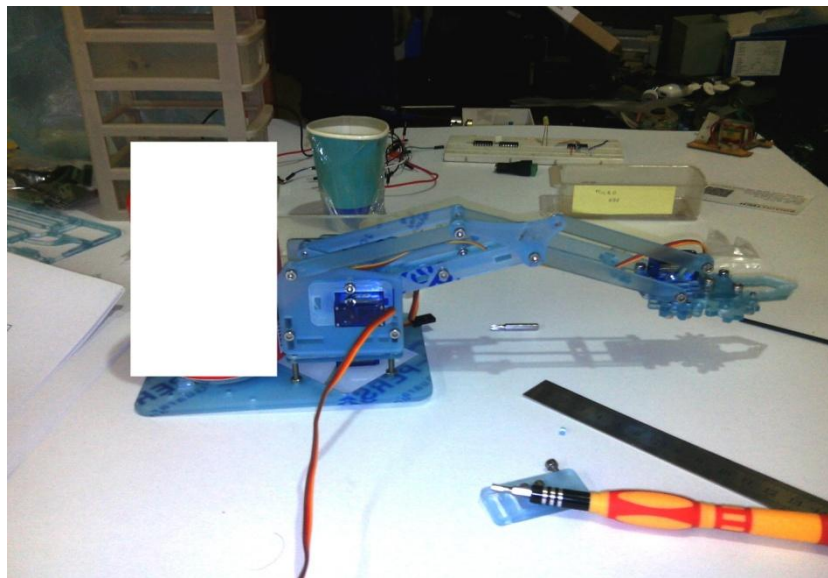


Figure 3.8. Le premier bras en plastique.

a plate-forme du bras

A base d'alucobonde, la plate forme circulaire du bras a été découpée soigneusement, en faisant attention au dimensionnement du robot, assez grande pour accueillir le bras et ses servomoteurs et assez petite, pour qu'il n'y ait pas de collisions entre la plateforme et la batterie qui se trouve a quelques millimètres d'elle, et aussi pour ne pas dépasser le périmètre du robot et fausser tout les calculs. Sous cette plate-forme, nous avons installer un système de roues, pour la maintenir en équilibre et en même temps diminuer les frottements avec la plate-forme inferieure. Un servomoteur assure le rotation du bras, mais comme notre servomoteur ne tourne qu'a 180 degrés, nous avons du mettre en place un engrenage, pour augmenter l'angle de rotation, dans le premier pignon qui est relié directement au servomoteur, nous avons choisis le pignon doté de 22 dents, alors que

celui relié au bras n'a que 10 dents, donc reliant le tout, nous aurons un bras qui fera plus de 360 degrés, ce qui est largement suffisant, pour notre application.

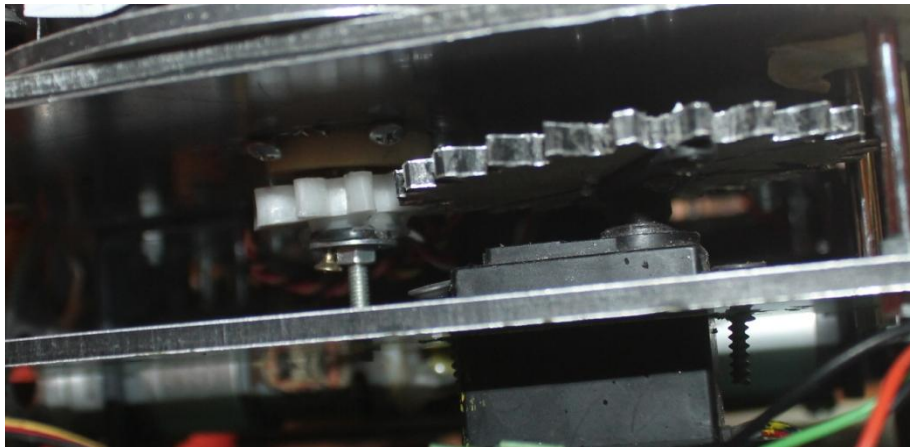


Figure 3.9. L'engrenage du bras.

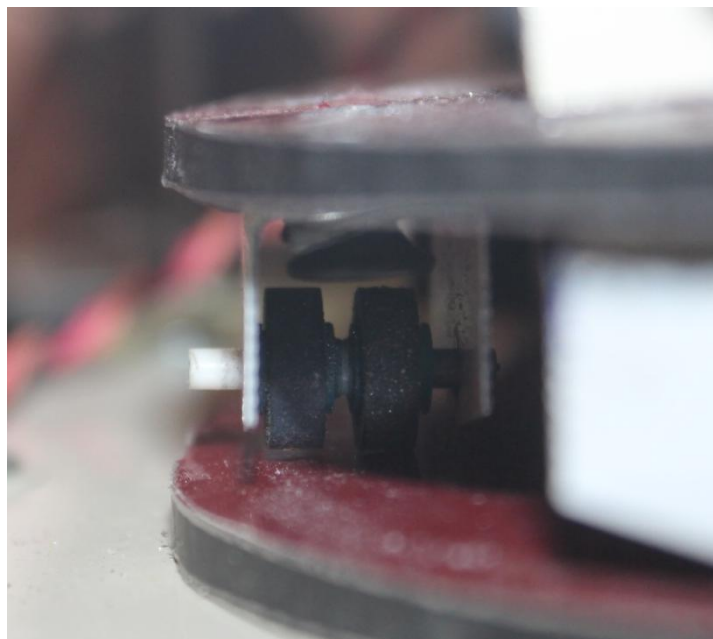


Figure 3.10. Système de roues sous la plate-forme du bras.

b Opération verticale

Pour faire monter ou descendre la pince du bras, nous avons du installer un servomoteur qui assurera ce mouvement, tout dépend de l'angle que prend ce servomoteur, si par exemple le servomoteur est a 20 degré, la pince est tout en haut, et au fur et a mesure que l'angle augmente, la pince descendra, jusqu'a par exemple 100 degré, qui marquera le point plus bas pour la pince, et qui sera dans notre cas au raz du sol.

c Opération horizontale

De même que pour l'opération précédente, un servomoteur assurera le mouvement horizontal, si par exemple, le servomoteur est a 5 degré, ce qui représenterait le point le plus proche de la plate-forme pour la pince, si on augmente l'angle du servomoteur, la pince s'éloignera petit a petit jusqu'a atteindre le point le plus loin, quand par exemple le servomoteur est a 90 degré.

d la pince du bras

La pince aura pour rôle d'attraper les objets qui lui seront accessibles, pour exécuter son action, un servomoteur de neuf grammes a été installer au sommet du bras, nous avons choisis ce servomoteur pour son faible poids, car son emplacement sur le bras, nécessite une très grande légèreté. Sur la pince, un capteur infrarouge a été installé, quand ce capteur détectera un objet a proximité, un signal sera envoyé a la carte de commande arduino, qui elle enverra un signal au servomoteur pour qu'il referme la pince sur l'objet détecté.

En synchronisant toutes ces opérations, nous obtiendrons un bras articulé, a trois degrés de liberté, doté d'une pince, qui fonctionnera selon un programme précis.

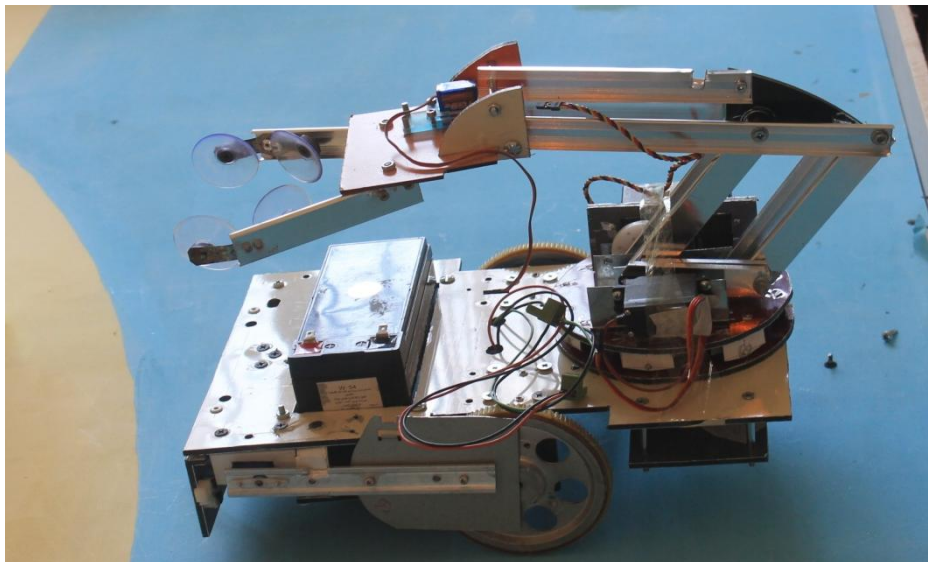


Figure 3.11. le bras articulé monté sur le robot.

3.6 le parasol

A la fin du jeu, le robot est supposé déployer le parasol pour se mettre à l'ombre, suivant la règle du jeu, nous avons installé un parapluie, que nous avons modifié au préalable afin qu'il soit à l'échelle du robot, donc, tout un travail pour le rapetisser, puis pendant toute la durée du jeu, soit 90 secondes, le parasol doit demeurer fermé, donc, nous avons dû le bloquer en le mettant dans un cylindre creux, puis pour l'ouvrir un servomoteur, tirera ce cylindre vers le bas qui libérera le parapluie, et il s'ouvrira, dans la compétition, on appellera cette opération la funny action, qui nous fera gagner 20 points.

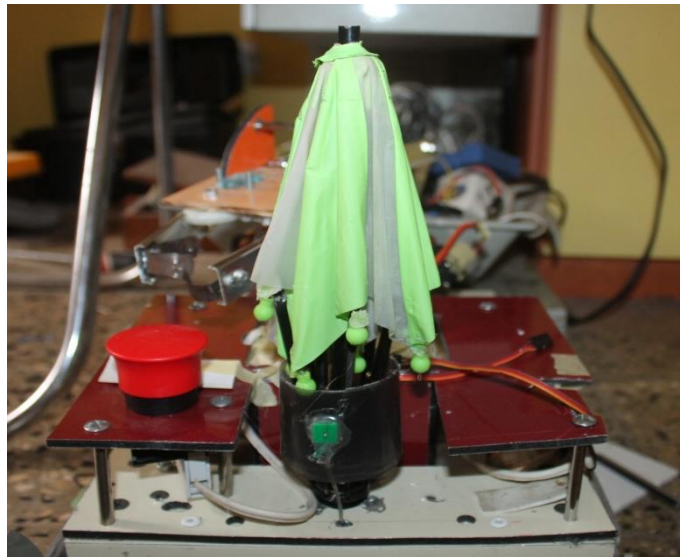


Figure 3.12. Parasol non déployé.

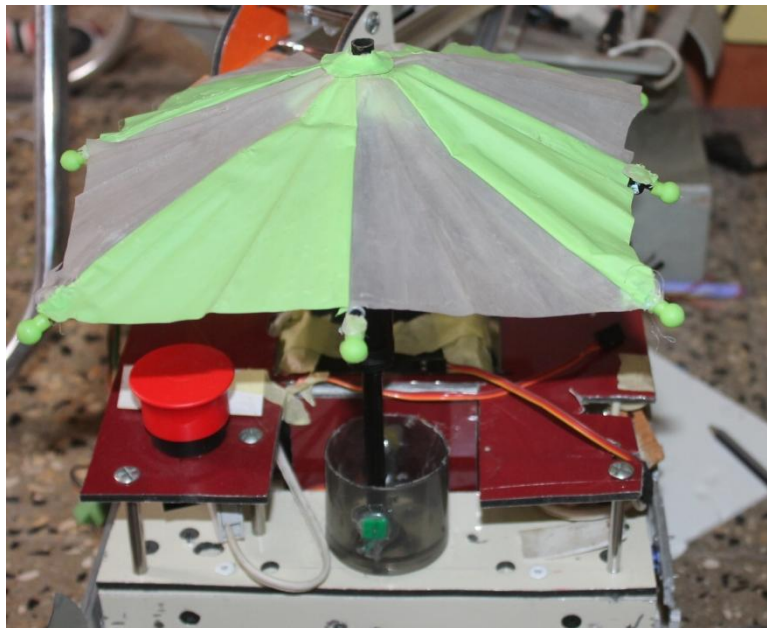


Figure 3.14. Parasol déployé sur le robot.

3.7 Conclusion

Tout comme l'électronique, la mécanique et l'un des éléments des plus importants dans la robotique, car un mauvais fonctionnement mécanique entraînera des défaillances majeurs dans l'exécution des tâches du robot, nous avons vu dans ce chapitre qu'il ne suffisait pas de visser quelques boulons et monter deux ou trois roues pour fabriquer un robot fonctionnel, même avec les cartes électronique les plus puissantes, car le mouvement du robot n'est pas aussi évident qu'un homme puisse l'imaginer, car pour atteindre un point dans l'espace, tout un calcul doit être fait, une synchronisation parfaite entre les différents moteurs et capteurs, un simple blocage dans le mécanisme entraînera une surchauffe dans les circuits électriques, et causera une panne dans tout le système.

Chapitre 4: tests et essais

Chapitre 4: tests et essais



Chapitre 4 tests et essais

4.1 Introduction

Dans ce tout dernier chapitre, nous allons tenter de montrer ce qu'on a fait comme testes, ce que nous avons obtenu comme résultat, ce qui a marché, ce qui n'a pas marché, qu'est ce qui a été modifié, les idées de départ, et l'aboutissement, en bref, c'est la partie la plus importante, car elle regroupe la théorie et la pratique.

4.2 Construction de l'environnement du robot

4.2.1 L'aire de jeu

L'aire de jeu est un plan rectangulaire de 3 mètres par 2 mètres avec des bordures sur chaque côté.

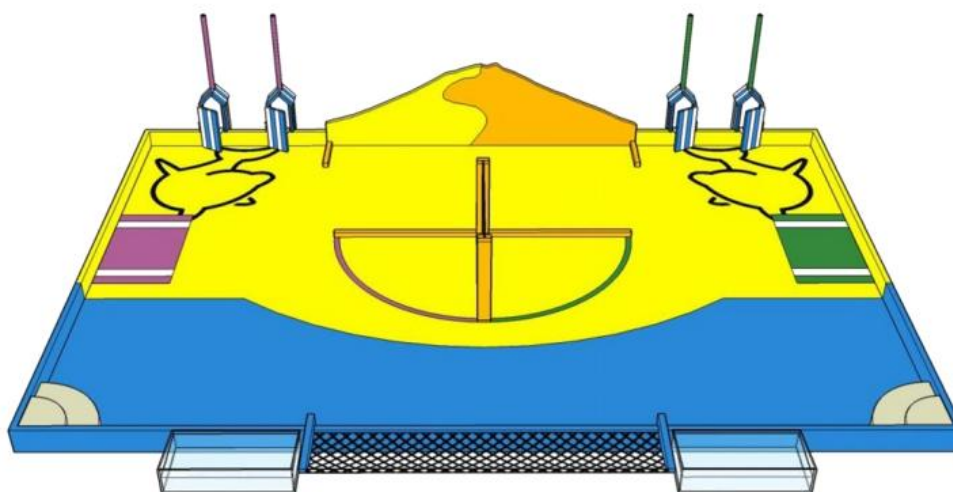


Figure4.1. Vue de l'aire de jeu sans les éléments.

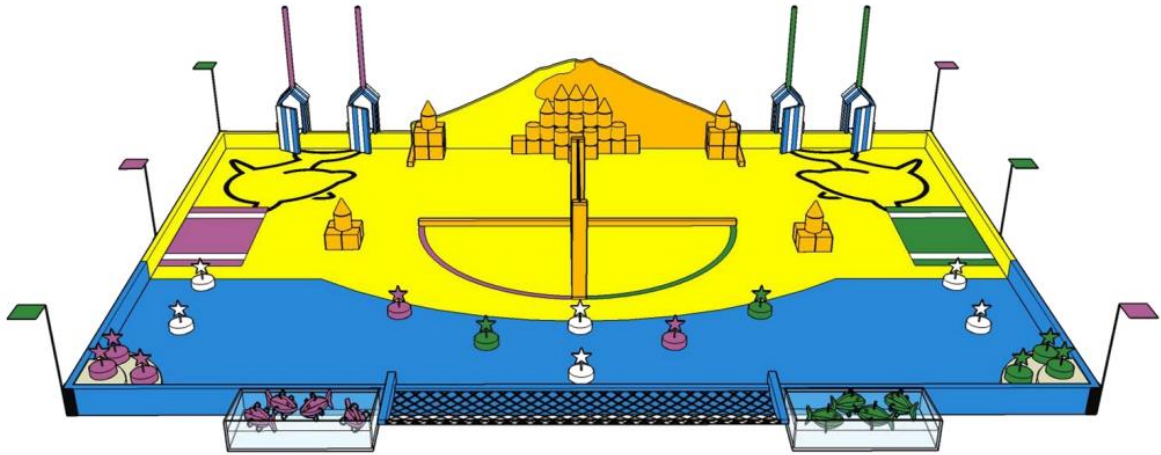


Figure 4.2. Table de jeu avec tout les éléments présents.

4.2.2 Les zones de départ

Les zones de départ, représentant une serviette de plage, elles sont situées sur les côtés gauche et droit de l'aire de jeu. Elles sont matérialisées par une zone peinte de la couleur de l'équipe.

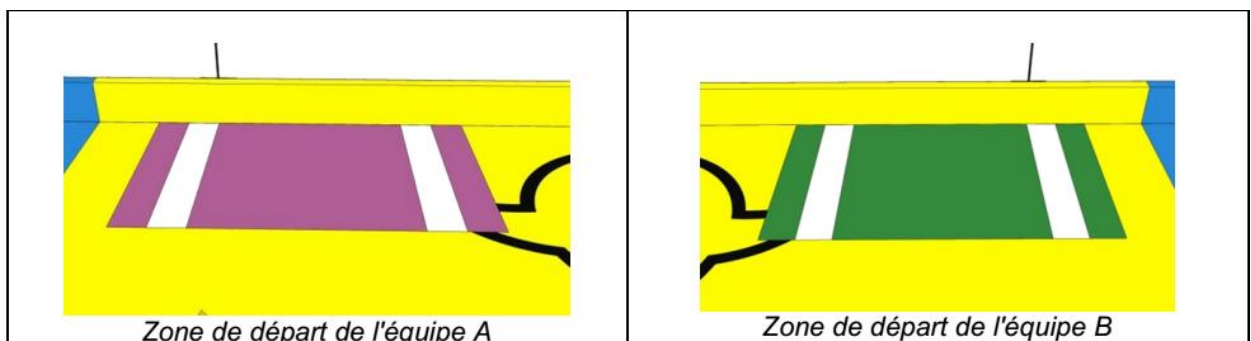


Figure 4.3. Vue des zones de départ.

Les robots ne sont pas autorisés à pénétrer dans la zone de départ de l'équipe adverse.

Avant de démarrer, les robots ne doivent pas dépasser les limites de la zone de départ.

4.2.3 Les drapeaux

Arrivés sur la plage, c'est la fête ! Afin de signaler leur arrivée, les robots peuvent hisser les pavillons des Beach Bots.

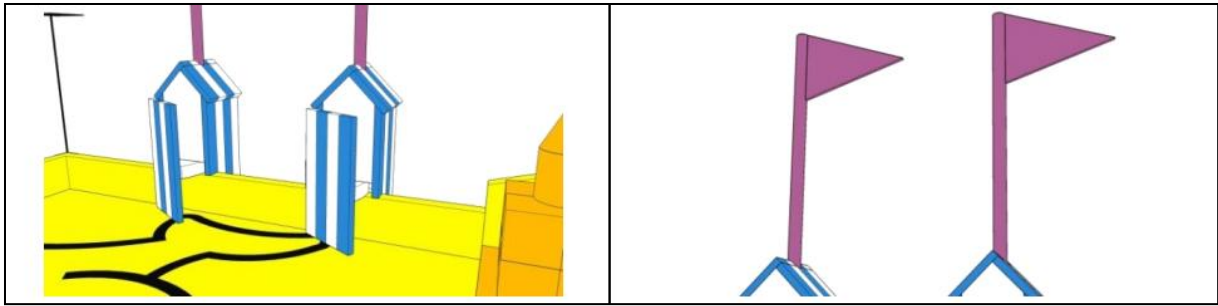


Figure 4.4. Cabines et drapeaux.

Les robots doivent fermer la porte de chaque cabine de plage. Cela permettra de hisser le drapeau situé sur son mât.

Un drapeau est comptabilisé si et seulement si la porte de la cabine est complètement en appui contre la bordure de l'aire de jeu. Un angle de 10° maximum sera toléré.

Il n'est pas autorisé de pousser ou de rouvrir la porte d'une cabine au couleur adverse.

4.2.4 La pêche en mer

La mer: elle est représentée par deux bacs remplis d'eau placés à l'avant de l'aire de jeu.

les poissons: Il y a quatre poissons par équipe.

- Ils flottent à la surface de l'eau.
- ils sont aux couleurs des équipes.
- Ils sont du côté de la zone de départ de l'équipe dont ils portent la couleur.
- Ils sont munis d'anneaux métalliques magnétisables.

Le filet: il est situé entre les deux bacs et peut accueillir la pêche des deux équipes.

Les robots doivent pêcher les poissons de leur couleur

Les robots peuvent déposer leur pêche dans le filet.

Les robots doivent pêcher uniquement les poissons de leur couleur.

Les robots ne peuvent en aucun cas retirer de l'eau de la mer.

Les robots ne sont pas autorisés à retirer les poissons adverses du filet.

4.2.5 Le château de sable

La dune: Elle est l'ensemble des 3 empilements de sable situés au fond de l'aire de jeu au début du match.

Le sable : il est matérialisé par des blocs de trois formes différentes :

Des cubes, au nombre de 40.

Des cylindres, au nombre de 20.

Des cônes, au nombre de 9.

Chaque équipe a le choix de pré-charger dans un de ses robots un cône (celui sur le monticule de sable du côté de l'équipe).

Le paravent : Il est situé au centre de l'aire de jeu.

La zone de construction: Cette zone est au centre de l'aire de jeu, séparée en deux par le paravent.

La zone de construction d'une équipe se trouve du côté de sa zone de départ. La zone de construction est délimitée par une ligne aux couleurs de l'équipe. Cette ligne est comprise dans la zone de construction.

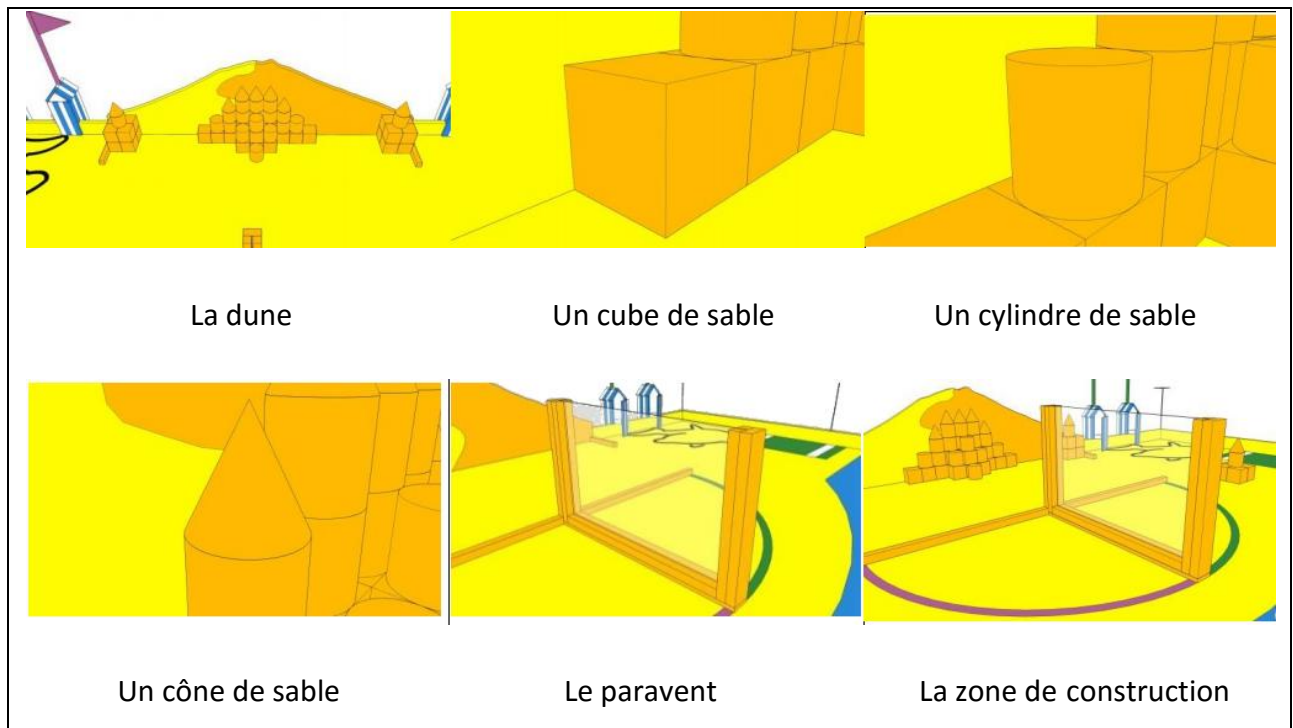


Figure 4.5. Le sable et la zone de construction.

4.2.6 Les coquillages

Pour finir cette belle journée, les robots se promènent le long de la plage et trouvent tellement de beaux coquillages, qu'ils souhaitent en amasser le plus possible sur leurs serviettes de plage. Les serviettes de plage sont les zones de départ.

Les coquillages : ils sont symbolisés par des palets ronds avec une décoration dessus. Il y a deux sortes de palets :

- o Des neutres, commun aux deux équipes, au nombre de 6.
- o Des colorés, aux couleurs des équipes, au nombre de 5 par équipe.

Les rochers: certains coquillages sont plus difficiles à attraper, ils sont sur les rochers. Ces derniers sont situés dans les angles à l'avant de l'aire de jeu.

Les serviettes de plages: ce sont les zones de départ de chaque équipe.

Cartes de positionnement des coquillages: ce sont 5 cartes montrant les différents placements possibles pour les coquillages sur l'aire de jeu.

- Les robots peuvent ramener des coquillages sur leur serviette de plage.
- Les coquillages sont placés un peu partout sur la plage et sur les rochers.
- La position des coquillages sur les rochers est connue.
- Les coquillages comptabilisés sont ceux placés au moins partiellement sur la serviette de plage de l'équipe.
- Les coquillages sont placés aléatoirement sur l'aire de jeu, en fonction de la carte de positionnement des coquillages tirée au sort lors de la préparation de l'aire de jeu, avant les 3 minutes de préparation des équipes.
- Les coquillages qui sont au moins partiellement dans une zone de départ, ne peuvent pas être enlevés de cette zone par le robot adverse.



Figure 4.6. Construction de la table.



Figure 4.7. Peinture de la table.



Figure 4.8. Table finie avec le robot sur la zone de départ verte.

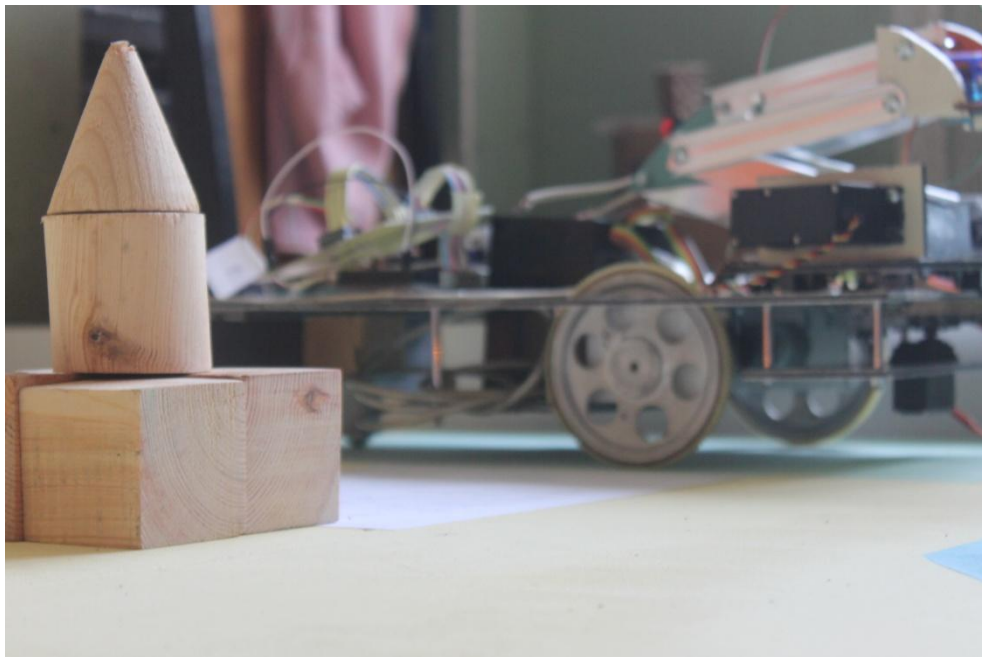


Figure 4.9. Un monticule de sable et le robot en arrière plan.

4.3 tests et essais sur le robot

Comme nous l'avons mentionner au départ, ce robot a été construit pour participer a la compétition de Eurobot 2016, donc suivant un cahier des charges bien précis, un dimensionnement maximal donné, ce robot exécute des fonctions propre a lui. Donc a la lecture du règlement de la compétition nous avons mis en place les étapes qu'il devait suivre a fin de récolter le maximum de point, comme la première étape était de pousser les cubes qui étaient devant lui, nous avons du choisir les moteurs qui lui convenaient le mieux,

assez puissant pour déplacer toute la charge des cubes, mais la consommation du courant devait être minime, donc nous avons opté pour les moteurs MAF 940D qui étaient idéals pour notre prototype, comme nous n'utilisons pas d'encodeur pour repérer notre robot sur la table, il nous était difficile de réorienter le robot après chaque opération, donc pour le calibrer, nous avons utilisé les bords de la table, le robot devait se coller sur le rebord pour assurer une trajectoire perpendiculaire a ce rebord, donc après chaque travail il devait se coller au mur, pour perdre le minimum de temps a son calibrage nous avons du choisir de grandes vitesses de déplacement ce qui engendrait quelques collisions qui lui étaient défavorable, car le premier matériau qu'on avait choisis était du Forex, un matériau trop souple avec beaucoup de chocs il se déformait, notre second choix était l'alucobonde, qui est deux plaques d'aluminium de 1 millimètre séparé par une couche d'isolant, nettement plus robuste et a peine plus lourd que du forex, ce matériau était idéal pour nos travaux.

Au début, comme il s'agissait de construire ou de rassembler des cubes dans la zone de construction, nous voulions installer une pince a l'avant du robot placée bien au centre n'ayant la possibilité que de monter ou descendre, le robot devait donc attraper un cube l'amener dans la zone de construction, puis refaire le même travail pour tenter de ramasser un maximum de points, cette idée ferait perdre au robot beaucoup de temps, et ne lui ferait gagner que quelques points, nous avons du l'abandonner, pour la remplacer avec l'idée des deux leviers en forme de spatule qui serreraient les cubes et les emmèneraient a l'endroit voulu, cette façon de transporter les cubes étant plus efficace, nous dûmes l'adopter, car en un seul voyage, le robot pouvait transporter huit cubes un cylindre et un cône, donc 20 point par voyages, il ne nous restait plus qu'a mettre en place les leviers.

au début les leviers n'étaient rien d'autre que deux simples barres d'aluminium de 14 centimètres, qui quand le robot se trouvait devant les cubes descendaient, mais pas très larges les cubes tombaient a chaque fois en chemin, nous avons donc du leur ajouter une plaquette d'aluminium pour bien maintenir les cubes en place durant leur transport, mais après quelques essais une fausse manœuvre du a une mauvaise programmation, le robot a plié l'un des levier et l'a rendu inutilisable, et cela a cause de la fine épaisseur de ces de la barre, nous avons choisis une autre barre beaucoup plus épaisse qui ne pliera pas si une autre manœuvre de se genre venait a se reproduire.

Après plusieurs testes, un problème est survenu, la trajectoire du robot changeait aléatoirement pendant son parcours, et des fois il n'atteignait même pas sa cible, le

problème était que cet aléa était aléatoire, il ne répétait jamais la même erreur, mais une imprécision flagrante était présente, nous avons tout d'abord soupçonné les roues motrices, et les moteurs de propulsion, après nous avons du nettoyer toute la table car nous avons pensé que c'était quelques défauts et imperfections de la table qui engendraient ce genre de désorientations, mais par la suite nous avons réalisé que ce défaut la n'était pas présent au tout début des testes, malgré la présence de défauts dans la table, donc ce n'était pas la vraie cause du problème, la seule options qui nous restait était de démonter la roue bille de la nettoyer puis de la remonter, car après surement des kilomètres qu'elle a du parcourir durant les testes, elle a ramassé une quantité de poussière suffisante qui avec un coefficient de frottement conséquent causait sa désorientation, donc nous avons procéder a un nettoyage complet et un graissage pour fluidifier son mouvement, après cela nous avons refait les testes, problème résolu, le robot était plus précis que jamais

Comme nous avons construit notre propre table, pour faire les testes et les essais, nous avons remarqué une certaine différence entre celle que nous avons fabriqués et celle qui a été fabriquée pour la compétition, car la peinture que nous avons appliquée était différente, donc pas le même coefficient de frottement, par conséquent sur la table de la compétition le robot n'atteindrait pas sa cible, alors que sur notre table la cible était atteinte dans 90% des cas.

alors a la dernière minute, nous avons opérer quelques modifications, pour atteindre le même niveau de précision.

Pendant les testes, pour de longues distances, le robot ne faisait pas une ligne droite parfaite, nous remarquons qu'a chaque fois il virait légèrement vers le droite, cela était du a la non similitude des deux moteurs propulseurs, pour la même tension appliquée au deux moteurs, le moteur de gauche allait légèrement plus vite que celui de droite, pour régler ceci nous avons du augmenter la vitesse du moteur droit, ce qui a mis fin a nos soucis.

Pour la conception de la carte de puissance nous avons utiliser le logiciel Proteus a fin de réaliser de schéma ainsi que la circuiterie de la carte, la carte était divisée en deux partie, la première était destiner a accueil les servomoteurs les capteurs et l'inverseur, la seconde partie, était destiner a recevoir les régulateurs de puissances 7805 qui étaient au nombre de six, le circuit L298 le pont de diodes, les condensateurs et les résistances. La connexions entre ces deux parties était assurée par des fils en cuivre rigides, mais durant son travail, le robot subissait des coupures et un disfonctionnement flagrant causés par le détachement

des fils de connexions durant les collisions ou les manœuvres, donc pour remédier à ce problème, nous avons tenté de refaire la conception de la carte mais cette fois-ci, nous avons fait une seule partie qui regroupait les deux étages, donc moins de fils de connexions par conséquent moins de coupures dans le travail en cas de collisions.

la carte fonctionnait parfaitement pendant un long moment, mais durant les derniers tests et une dernière mise en point avant la compétition, une des résistances s'est grillée causant la panne de tout le robot, ainsi que la disqualification de notre équipe, cette résistance a aussi engendré d'autres dégâts dans la carte, ce qui nous a contraint à refaire la carte depuis le début, mais cette fois-ci, avec une meilleure performance, et des composants moins exposés à la panne.

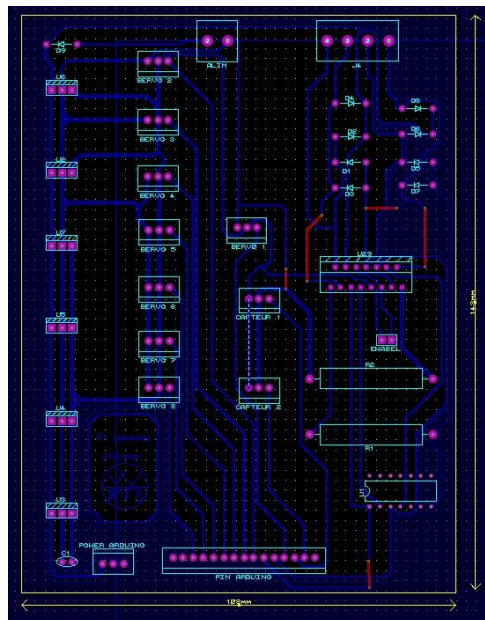


Figure 4.10. Document transparent de la carte de puissance.

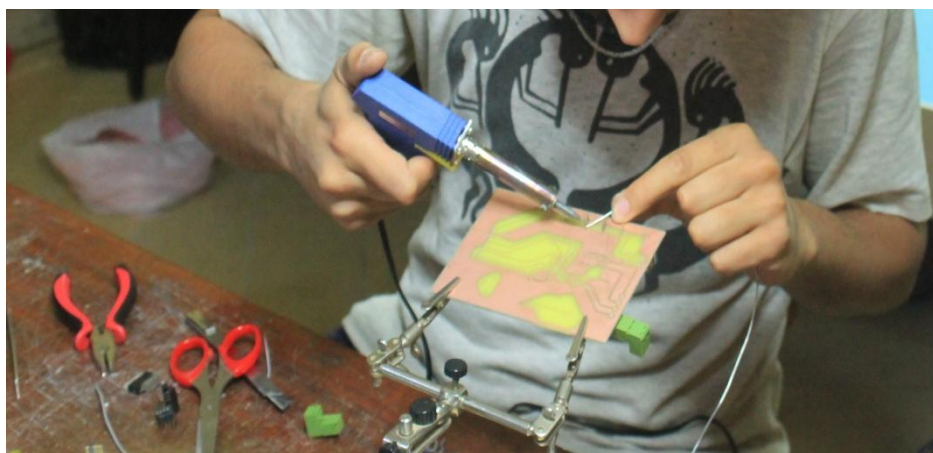


Figure 4.11. Soudure des composants sur la carte de puissance.

4.4 Conclusion

Malgré la simplicité apparente de notre robot, nous avons vu qu'il ne manquait pas de difficultés à la réalisation, sa mécanique étant tout aussi complexe que son électronique ou sa programmation, nous avons pu réaliser quelque chose de concret que nous sommes fière de présenter, mais nous devons avouer qu'il nous manque de le perfectionner, car en raison du manque de temps, nous avons délibérément omis de réaliser quelques détails, mais nous comptons bien sur les réaliser dès que le temps et le budget nous le permettra.

Conclusion

Comme le répète souvent un enseignant d'architecture a ses étudiants, "Il faut oser", c'est donc ce que nous avons fait, nous avons osé, osé débiter le travail, nous avons osé réaliser ce qui nous semblait irréalisables, nous avons osé concrétiser nos rêves et nos imaginations.

Un bras articulé parfaitement opérationnel, monté sur un robot de compétition tel était l'aboutissement de nos travaux, un robot autonome qui réalise des tâches totalement différentes durant un laps de temps très court, un défi relevé et à la fin accomplis. La plus grande conclusion que nous tirons de cette merveilleuse expérience est que rien ne vaut l'effort personnel et l'acharnement au travail, jusqu'à la ligne d'arrivée.

durant notre parcours nous avons rencontré de multiples problèmes, liés à l'électronique à la mécanique, à la programmation, ou tout simplement aux contraintes du cahier des charges, à plusieurs reprises l'idée de baisser les bras nous a frôlé l'esprit, mais une motivation jaillissait de nos cœurs, car nous savions que la victoire était proche, il suffisait donc de persévérer, et aller au-delà des obstacles.

Bibliographie :

[1]Réalisation d'un robot mobile autonome suiveur de ligne avec affichage sur pc
2012/2013

[2] CONCEPTION D'UN SYSTEME DE BALISES INFRAROUGE/ULTRASONNS POUR LA
LOCALISATION D'UN ROBOT MOBILE 2013/2014

[3] Ajustement visuel et automatique de la pince d'un manipulateur mobile sur la poignée
d'une porte en exploitant la caméra embarquée : Application au robot RobuTER/ULM.
2012/2013

[4] Implémentation d'un contrôleur PI pour la commande du déplacement d'un robot mobile
sept 2011

[5] louis reynier , ' c'est quoi Arduino ' ,2010.

[6] <http://fr.flossmanuals.net/arduino/index>

[7] [http://www.mon-](http://www.mon-clubelec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n=Main.ReferenceEtendue)

[clubelec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n=Main.ReferenceEtendue](http://www.mon-clubelec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n=Main.ReferenceEtendue)

[8][http://www.mon-club-](http://www.mon-clubelec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n=Main.MaterielMega2560)

[elec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n=Main.MaterielMega2560](http://www.mon-clubelec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n=Main.MaterielMega2560)

Liste des figures

Chapitre 1

Introduction a la robotique

Figure 1.1. le robot RUR.....	4
Figure 1.2. robot marcheur	6
Figure 1.3. robot rampant.....	7
Figure 1.4. robot à chenille	7
Figure 1.5. Robot a roues unicycle.....	8
Figure 1.6. Robot a roues tricycle	9
Figure 1.7. Robot voiture	7
Figure 1.8. Robot holonome.....	10
Figure 1.9. Odomètre	12
Figure 1.10. principe de fonctionnent des encodeurs optique	12
Figure 1.11. Un accéléromètre	13
Figure 1.12. gyroscope.....	13
Figure 1.13. capteurs ultrasoniques.....	14
Figure1.14. principe de fonctionnement de capteur à ultrasonic	14
Figure 1.15. Principe de fonctionnement du télémètre infrarouge	16
Figure 1.16. capteur de fin de course.....	16
Figure 1.17. capteur CCD.....	17
Figure 1.18. utilisation en milieu hostile	18
Figure 1.19. robot militaire	19
Figure 1.20. chaine de montage	19
Figure 1.21. robot agriculteur	20
Figure 1.22. robot Asimo de Honda	20

Chapitre 2

L'électronique du robot

Figure 2.1. logiciel Arduino	24
Figure 2.2. l'écran principal du logiciel Arduino	25
Figure 2.3. la carte Arduino Méga 2560	27
Figure 2.4. le régulateur 7805	30
Figure 2.5. le circuit L298	30
Figure 2.6. batterie 12V	31
Figure 2.7. carte de puissance	31
Figure 2.8. carte arduino méga	32
Figure 2.9. bouton d'arrêt d'urgence	33
Figure 2.10. capteur ultrason	33
Figure 2.11. capteur infrarouge.....	33
Figure 2.12. capteur de fin de course.....	34
Figure 2.13. servomoteur SG90	35
Figure 2.14. servomoteur MG996R.....	35
Figure 2.15. servomoteur HS 805BB	36
Figure 2.16. moteur DC MFA-940D	36

Chapitre 3

La mécanique du robot

Figure 3.1. Première plate-forme.....	40
Figure 3.2. construction de la plate-forme principale.....	40
Figure 3.3. dimension du motoréducteur MFA 940D.....	41
Figure 3.4. une des deux roues motrices	42
Figure 3.5. la roue bille	42
Figure 3.6. les deux leviers a l'avant du robot.....	43
Figure 3.7. le robot prenant en sa possession les cubes	44
Figure 3.8. le premier bras en plastique	45
Figure 3.9. l'engrenage du bras	46
Figure 3.10. système de roues sous la plate-forme du bras	46
Figure 3.11. le bras articulé monté sur le robot	48
Figure 3.12. parasol non déployé	48
Figure.3.13. parasol déployé sur le robot	49

Chapitre 4

Tests et essais

Figure 4.1. vue de l'aire de jeu sans les éléments.....	51
Figure 4.2. Table de jeu avec tous les éléments présents	52
Figure 4.3. vue des zones de départ	52

Figure 4.4. cabines et drapeaux.....	53
Figure 4.5. Le sable et la zone de construction.....	54
Figure 4.6. construction de la table	56
Figure 4.7. peinture de la table	56
Figure 4.8. table finie avec le robot sur la zone de départ verte	57
Figure 4.9. un monticule de sable et le robot en arrière plan.....	57
Figure 4.10. Document transparent de la carte de puissance	60
Figure 4.10. Soudure des composants sur la carte de puissance	60

Conclusion

Comme le répète souvent un enseignant d'architecture à ses étudiants, "Il faut oser", c'est donc ce que nous avons fait, nous avons osé, osé débiter le travail, nous avons osé réaliser ce qui nous semblait irréalisables, nous avons osé concrétiser nos rêves et nos imaginations.

Un bras articulé parfaitement opérationnel, monté sur un robot de compétition tel était l'aboutissement de nos travaux, un robot autonome qui réalise des tâches totalement différentes durant un laps de temps très court, un défi relevé et à la fin accompli. La plus grande conclusion que nous tirons de cette merveilleuse expérience est que rien ne vaut l'effort personnel et l'acharnement au travail, jusqu'à la ligne d'arrivée.

durant notre parcours nous avons rencontré de multiples problèmes, liés à l'électronique à la mécanique, à la programmation, ou tout simplement aux contraintes du cahier des charges, à plusieurs reprises l'idée de baisser les bras nous a frôlé l'esprit, mais une motivation jaillissait de nos cœurs, car nous savions que la victoire était proche, il suffisait donc de persévérer, et aller au-delà des obstacles.