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 : Electronique
Spécialité : Instrumentation

Conception et réalisation d'un robot nettoyeur de panneaux solaire commandé par Bluetooth.

Présenté par:

Belkacemi Rachida

Benmeziane Mounira

Proposé et Dirigé par :

Dr.BENTOUATI Smain

Promotion 2021



Remerciement

Nous remercions DIEU qui nous a donné la force
Et la patience pour terminer ce travail.
Nous exprimons nos sincères remerciements :
A nos parents pour leur contribution pour chaque travail
Que nous avons effectué.
Nos remerciements vont particulièrement à notre
Promoteur Mr Benteouati pour son aide, sa contribution à
L'accomplissement de ce travail.
Aux membres du jury, pour avoir accepté de juger
Notre travail
Et toute l'équipe pédagogique de génie civil
Sans oublier ceux qui ont participé de prés ou de loin
À la réalisation de ce travail.

.

Dédicaces

Je rends grâce à dieu de m'avoir donné le courage et la volonté ainsi que la conscience pour venir à terme de mes études.

Je dédie ce modeste travail à « l'âme de ma Mère » (رحمها الله)*et à « Mon cher père », pour tous ses conseils et pour toute la confiance qu'il a mise en moi et pour son dévouement pour mon bonheur. Que dieu me les garde.*

A mes chères sœurs « Akila» et « Faiza» à mes chers frères « Yacine»,

« Rafik » et« Mohamede»

A Mon cher mari « Abdou»

Reconnaissance à tous mes amis surtout « Nesrine »

A Toute ma famille et ma belle famille

Rachida

Dédicaces

J'ai le plaisir de dédier ce modeste travail à :

A ceux qui sont mon exemple de réussite, que j'ai tant aimée et respectés.

A ceux qui m'ont données l'amour, la tendresse et la force : ma très chère mère et mon père (رحمه الله).

A mon frère : Ahmed Cherif.

A mes sœurs : Imene et Besma.

A toute la famille Benmeziane.

A toutes les personnes qui me connaissent sans oublier la promotion Master

2020/2021.

Mounira

ملخص :

إن أهم مشكلة تواجه الباحثين في مجالات استخدام الطاقة الشمسية هي تلوث الألواح الشمسية وارتفاع تكاليف تنظيفها، لأن تراكم الأوساخ يؤدي إلى انخفاض كفاءة الألواح الشمسية.

وبالتالي فإن الهدف من هذا المشروع هو الحفاظ على كفاءة كهربائية عالية والتغلب على أكبر المشاكل وهي الغبار، كل هذا من خلال تصميم وتنفيذ منظف الألواح الشمسية الذي يتم التحكم فيه عن طريق البلوتوث. . سيتم تثبيت جهاز الآلات الخاص بنا على هيكل ميكانيكي يتم تحريكه بواسطة محركين في أربعة اتجاهات (أمام، خلف، يمين، يسار)نستخدم وحدة بلوتوث التي تتلقى البيانات من تطبيق بلوتوث في الهاتف الذكي (التطبيق الذكي) ثم ترسلها الى دائرة التحكم(أردوينو).

الكلمات المفتاحية: الألواح الشمسية، البلوتوث، أردوينو ، التطبيق الذكي.

Abstract :

The most important problem facing researchers in the fields of solar energy use is the pollution of solar panels and the high costs of cleaning them, because the accumulation of dirt leads to a decrease in efficiency. solar panels.

Thus the goal of this project is to maintain a high electrical efficiency over come the biggest problems which are dust, all this through the design and the implémentation of a solar panel cleaner which is controlled by Bluetooth. Our instrumental device is fixe on a mechanical structure which is move by two motors in four directions (forward, backward, right, left). We use a Bluetooth module which receives data from an Android application in the Smartphone (App Inventor) then sends it to the control circuit (Arduino) in order to manage the various parts of the cleaner.

Keywords : Solar panels, Arduino Mēga, Bluetooth, inventorapp.

Résumé :

Le problème le plus important auquel font face les chercheurs dans les domaines de l'utilisation de l'énergie solaire est la pollution des panneaux solaires et les couts élevés de leur nettoyage, parce que l'accumulation de saleté entraine une diminution de l'efficacité des panneaux solaires.

Ainsi le but de ce projet est maintenir un haut rendement électrique en surmontant les plus gros problèmes qui sont la poussière, tout cela à travers la conception et la mise en œuvre d'un nettoyeur de panneaux solaires qui est contrôlé par Bluetooth. Notre dispositif instrumental est fixe sur une structure mécanique qui se déplace par deux moteurs dans quatre directions (avant, arrière, droite, gauche).Nous utilisons un module Bluetooth qui reçoit les données d'une application Android dans le Smartphone (App Inventor) puis l'envoie au circuit de contrôle (Arduino) afin de gérer les différents organes du nettoyeur.

Mots-clés : Panneaux solaires, Arduino Mēga, Bluetooth, App Inventor.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENERGIE SOLAIRE

I.1. Introduction 01
I.2. Mouvement globale terrestre 01
I.2.1 Coordonnées terrestre 02
I.3. Les coordonnées du soleil 02
I.3.1 Les coordonnées équatoriales 02
I.3.2 Les coordonnées horizontales 03
I.4. L'énergie solaire 04
I.4.1 Le gissement solaire 04
I.4.2 Le rayonnement solaire 05
I.4.3 Technique pour capter l'énergie solaire 06
I.5. Les cellules solaires 06
I.5.1 La structure des cellules solaires 07
I.5.2 Principe de fonctionnement d'une cellule solaire 07
I.6. L'énergie photovoltaïque 08
I.6.1 L'effet photovoltaïque 09
I.6.2 Les panneaux photovoltaïques 09
I.6.3 Les différents types de cellule photovoltaïque 09
I.6.4 Le rendement d'un panneau photovoltaïque 12
I.7. La maintenance et nettoyage de panneau photovoltaïque 14
I.7.1 Maintenance de panneau photovoltaïque 14
I.7.2 Pollution des panneaux solaires 14
I.7.3 Nettoyage de panneau photovoltaïque 15
I.8. Les avantages et les inconvénients de l'énergie photovoltaïque 16
I.9. Conclusion 17

CHAPITRE II : ETUDES DE PARTIE MATERIELLES ET LOGICIELLES

II.1 Introduction 18
II.2 Description de la partie matérielle 18
II.2.1 Circuit de commande 18
II.2.2 Le module Bluetooth HC-06 22
II.2.3 Le circuit intégré L293D 24
II.2.4 Les moteurs à courant continu 25
II.2.5 Les motoréducteurs 30
II.2.6 Pompe à eau 31
II.3 Description de la partie logicielle 33
II.3.1 Le logiciel IDE Arduino 33
II.3.2 Application androïde 35
II.3.3 APP Inventor 35
II.4 Conclusion 42

CHAPITRE III : CONCEPTION ET REALISATION DE SYSTEME

III.1 Introduction ……. 43
III.2 Schéma synoptique …….. 43
III.3 Schéma électrique ..…… 44
III.3.1 Alimentation ……... 46
III.3.2 Bloc de puissance…… 46
III.3.3 Le module Bluetooth……... 46
III.3.4 Bloc traitement d'information……. 46
III.4 Partie mécanique …….. 46
III.4.1 Choix des matériaux et passage à l'usinage…… 47
III.4.2 La construction mécanique…….. 47
III.4.3 Installation de la structure du projet…… 47
III.5 Programmation ……..... 48
IIII.5.1 Application APP INVENTOR ……... 48
IIII.5.2 Programmation ARDUINO 51
III.6 Mise au point ……... 55
III.7 Conclusion ……... 55

Liste des figures

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENERGIE SOLAIRE

Figure I.1	Variation saisonnière du rayonnement solaire	01
Figure I.2	Coordonnées terrestres	02
Figure I.3	Coordonnées équatoriales	03
Figure I.4	Représentation de la hauteur (h) et l'azimut (a)	04
Figure I.5	Carte du monde de l'irradiation horizontale globale	05
Figure I.6	les rayonnements solaires	06
Figure I.7	structure de la cellule photovoltaïque	07
Figure I.8	Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	08
Figure I.9	Panneau solaire photovoltaïque de type monocristalline	10
Figure I.10	solaire photovoltaïque de type poly cristalline	11
Figure I.11	Panneau solaire photovoltaïque de type amorphe	12
Figure I.12	L'influence de température	13
Figure I.13	L'influence de l'éclairement	13
Figure I.14	Dépendance des performances d'un panneau PV de l'angle α	14
Figure I.15	Représentation de l'angle d'inclinaison (a)	14
Figure I.16	Nettoyage manuel	16
Figure I.17	Nettoyage semi-automatique	16
Figure I.18	Nettoyage automatique	16

CHAPITRE II : ETUDES DE PARTIE MATERIELLES ET LOGICIELLES

Figure II.1	Microcontrôleur ATmega2560	19
Figure II.2	Description d'une carte Arduino Méga	22
Figure II.3	Bluetooth HC-06	23
Figure II.4	Datasheet de L293D	24
Figure II.5	Fonctionnement de moteur à courant continu	26
Figure II.6	Constitution d'un moteur à courant continu	27
Figure II.7	L'inducteur de la machine à courant continu	27
Figure II.8	Le rotor de la machine à courant continu	28
Figure II.9	Le dispositif collecteur (a) / balais (b)	28
Figure II.10	Motoréducteur + roue	31
Figure II.11	Schéma d'un réducteur	31
Figure II.12	Pompe à eau à CC	32
Figure II.13	Interface de l'IDE Arduino	33

Figure II.14 Les boutons d'interphase d'IDE ……..……. 34
Figure II.15 La structure d'un programme Arduino ……...……... 35
Figure II.16 Différentes fenêtres d'APP INVENTOR …….. 36
Figure II.17 Les quatre étapes d'interface graphique …… 37
Figure II.18 L'interface scratch ……. 38
Figure II.19 La liste des éléments et des medias ……... 39
Figure II.20 La palette des éléments ……. 39
Figure II.21 L'écran d'affichage des éléments …….. 39
Figure II.22 Liste des propriétés …… 40
Figure II.23 L'interface de programmation de l'application ……. 41
Figure II.24 Les blocks de l'algorithme …… 41
Figure II.25 Test de fonctionnement de l'application ……... 42
Figure II.26 Le code QR ……... 42
Figure II.27 Téléchargement de l'application ……. 42

CHAPITRE III : CONCEPTION ET REALISATION DE SYSTEME

Figure III.1 Schéma synoptique ……... 43
Figure III.2 Schéma électrique sous **PROTEUS_ISIS** ……... 45
Figure III.3 L'alimentation utilisée …… 46
Figure III.4 Conception de la structure…… ..…….. 48
Figure III.5 L'interface de l'application sous App Inventor ……. 49
Figure III.6 Programme de configuration de Bluetooth……... 49
Figure III.7 Code pour activer/désactiver la communication Bluetooth ……..... 50
Figure III.8 Code pour les boutons ……... 50
Figure III.9 L'interface de l'application sous Smartphone ……... 51
Figure III.10 Organigramme de fonctionnement global …… 53
Figure III.11 Interface du logiciel Arduino IDE ……. 54

Liste des tableaux

CHAPITRE II : ETUDES DE PARTIE MATERIELLES ET LOGICIELLES

Tableau II.1 Les caractéristiques d'Arduino Méga ……... 19
Tableau II.2 Les caractéristiques du Bluetooth HC-06 ……. 23
Tableau II.3 Les caractéristiques du L293D ……..... 24
Tableau II.4 Les types de MCC ……. 29
Tableau II.5 Les caractéristiques d'une pompe à eau à CC ……... 32

CHAPITRE III : CONCEPTION ET REALISATION DE SYSTEME

Tableau III.1 Les pièces utilisées dans la structure mécanique de notre robot ……... 47

Liste des abréviations

λ : Longitude.

φ : Latitude.

δ : Déclinaison solaire.

α : Angle horaire.

h : Hauteur du soleil.

a : L'azimut.

I_{ph} : Courant de photo générateur.

PV : Photovoltaïque.

SRAM : Static Random Access Module **:** Mémoire volatile.

EEPROM : Electrically Erasable programmable Read-Only Memory **:** Mémoire morte.

USB : Universal Serial Bus.

PWM : Pulse Width Modulated **:** Largeur d'impulsion modulée.

SPI : Interface Série Périphérique.

GND : Ground **:** la masse ou 0V.

LED : Light Emitting Diode.

MCC : Machine à Courant continu.

M/A : Marche/Arrée.

IDE : Integrated Devlopment Environment **:** Environnement de développement intégré.

MIT : Massachusetts Institute of Technologie.

ISIS : Intelligent Schematic Input System.

CAO : Conception assistée par ordinateur.

Introduction générale

Les énergies renouvelables sont considérées comme inépuisables à l'échelle humaine. Face aux prévisions d'épuisement inévitable des ressources mondiales en énergie fossile (pétrole, gaz, charbon….), face aux multiples crises pétroliers, économiques, aux changements climatiques dus à l'effet de serre, la science s'est tout naturellement intéressée aux ressources dites "renouvelables" et notamment vers la plus ancienne, le soleil.
Le soleil est aujourd'hui réduit du statut d'énergie et transformer directement en électricité par effet photovoltaïque, provenant de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi - conducteur.

Les panneaux solaires, quelle que soit leur technologie, doivent obligatoirement être nettoyé pour un rendement optimal,donc les panneaux solaires doivent être dépourvus de tout objet ou élément pouvant bloquer les rayons du soleil en s'accumulant sur leur verre : poussières, pollens, feuilles mortes, fientes d'oiseaux, sable,dépôts de sels marins, particules fines, etc.. Il est donc nécessaire de vérifier leur état.

Dans ce contexte, notre motivation dans ce travail est d'optimiser le rendementdes panneaux photovoltaïques en nettoyant les panneaux solaires pendant la journée. Notrenettoyeur est basé sur l'utilisation d'une carte de commande à base de microcontrôleurATmega2560.

Notre rapport est organisé de la manière suivante:

- Le premier chapitre est consacré aux généralités sur l'énergie solaire et la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique en utilisant la technologie photovoltaïque.
- Le deuxième chapitre porte sur une étude théorique sur les différents éléments constituant notre système de robot nettoyeurainsi que les logiciels nécessaires pour la programmation de dispositif expérimental.
- Le troisième chapitre porte sur laconception et la réalisation pratique de notre système de robot nettoyeur des panneaux solaires.
- On termine ce travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Généralité sur l'énergie solaire

I.1 Introduction :

Ces dernières années de nombreuses recherches se sont intéressées a l'utilisation des énergies renouvelables notamment l'énergie solaire, cette dernière constitue une alternative aux énergies fossiles à plusieurs titres : elle est inépuisable, elle peut être produite localement et selon les besoins locaux elle préserve l'environnement car elle n'émet pas de gaz à effet de serre, elle ne produit pas de déchets et n'entraine aucun risque majeur et aucune nuisance significative.

L'énergie solaire photovoltaïque est l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire au moyen d'une cellule photovoltaïque, elle a l'avantage d'être non polluante et souple.

Dans ce chapitre nous présentons des notations de base indispensable sur l'énergie solaire photovoltaïque.

I.2 Mouvement global terrestre :

Le mouvement de terre se décompose en deux parties:

❖ La terre tourne sur elle-même avec une période de 24h. Son axe de rotation (l'axe des pôles) a une orientation fixe dans l'espace celui qui gouverne l'alternance des jours et des nuits.

❖ La terre décrit autour du soleil une orbite elliptique quasi circulaire avec une période de 365,25 jours. Le plan de cette orbite est appelé plan de l'écliptique. Ce mouvement est celui qui produit la succession des saisons. Au solstice d'hiver (21Décembre) la terre est la plus proche du soleil, et au solstice d'été (22 Juin) qu'elle en est la plus éloignée.

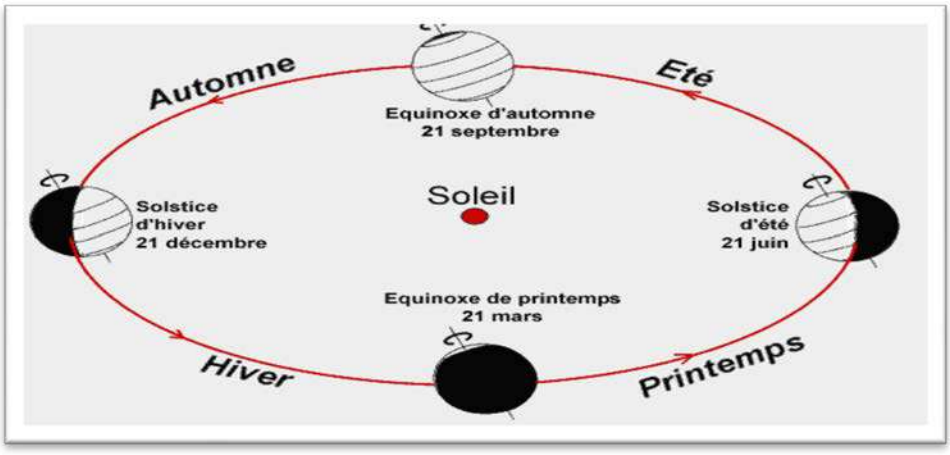


Figure I.1 : Variation saisonnière du rayonnement solaire[1].

I.2.1 Coordonnées terrestres :

Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre.

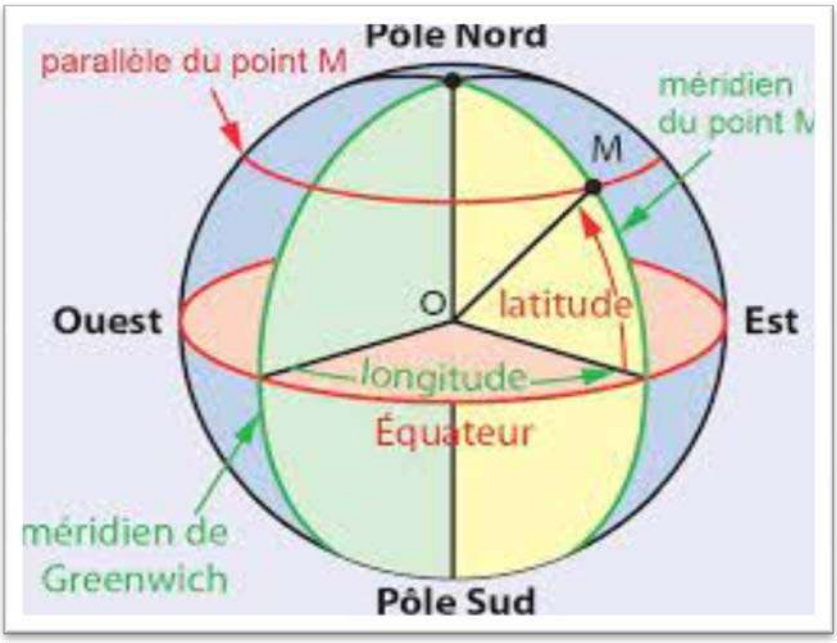


Figure I.2 : Coordonnées terrestres [2].

- **Longitudeλ :** c'est une valeur angulaire exprime la position est-ouest d'un point sur la terre, dont la référence est le méridien de Greenwich. Avec une étendue de -180°(180°ouest) à+180° (180°Est) [3].
- **Latitude φ :** est une valeur angulaire d'un point quelconque du globe par rapport à l'équateur s'étendantde 0° à l'équateur à 90° aux pôles (90° aunord et -90° au sud) [3].

I.3 Les coordonnées du soleil :

La position apparente du soleil par rapport à un observateur placé à un point du globe terrestre peut être repérée par deux systèmes de coordonnées différents :

I.3.1 Les coordonnées équatoriales *:*

Les coordonnées équatoriales ont l'avantage de pouvoir situer précisément le soleil dans le ciel de n'importe quel endroit sur terre. En effet, la déclinaison et l'angle horaire sont le résultat de la projection de la latitude et de la longitude sur la sphère céleste de l'équateur de la terre.

La direction d'une étoile est alors caractérisée par :

➢ **Déclinaison solaire δ :** est l'angle entre les rayons du soleil et le plan de l'équateur terrestre (figure I.3). Elle est nulle aux équinoxes d'automne (21septembre) et du printemps (21Mars), minimale au solstice d'Eté (21 décembre) et maximale au solstice d'hiver (21 janvier).

➢ **Angle horaire α :** est l'angle qui mesure le mouvement du soleil par rapport à midi qui est l'instant ou le soleil passe au plan méridien du lieu (zénith).Cet angle horaire est positif s'il est avant midi et il est négatif s'il est après midi et varie entre 180° et -180°,il varie à chaque instant de la journée.

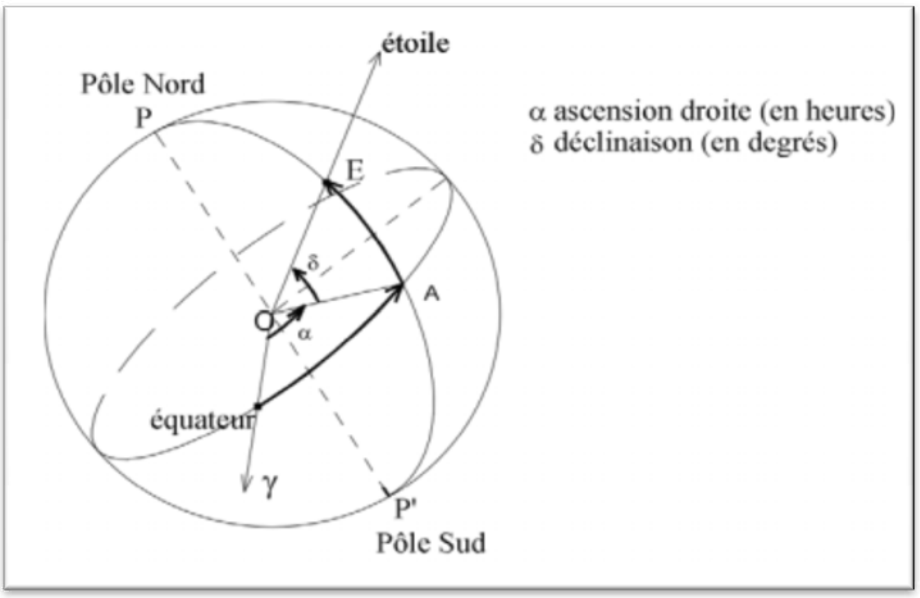


Figure I.3 : Coordonnées équatoriales [4].

I.3.2 Les coordonnées horizontales :

Le repérage de la position du soleil dans le ciel se fait à l'intermédiaire de deux Equations [1] :

➢ **Hauteur du soleil (h) :**C'est l'angle formé par le plan horizontal au lieu d'observation et la direction du soleil. Cette hauteur peut varier durant le jour de 0 (soleil à l'horizon) à 90° (soleil à l'horizon).

➢ **L'azimut (a) :** C'est l'angle sur le plan horizontal mesuré à partir du sud avec la projection horizontal des rayons directs du soleil. Il est donné comme angle entre le méridien local et la projection de la ligne de la vue du soleil dans le plan horizontal.

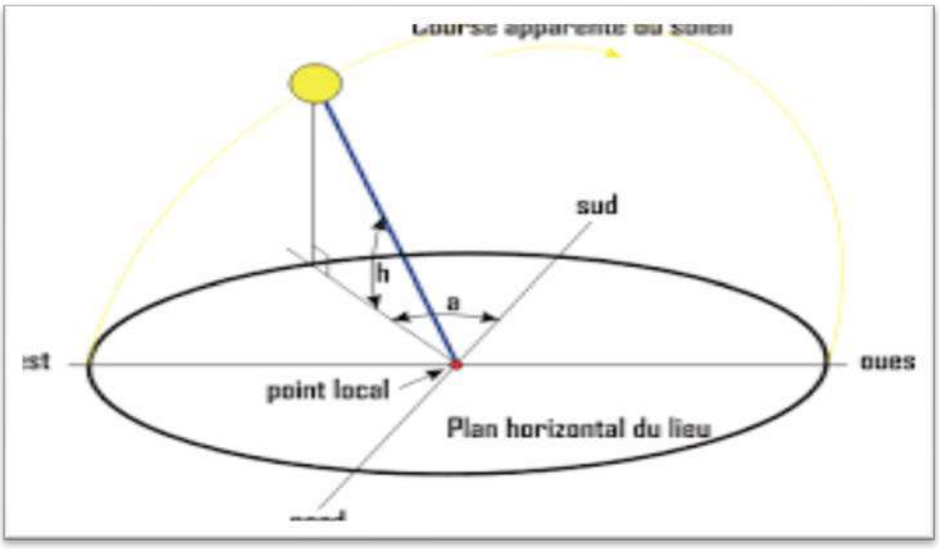


Figure I.4: Représentation de la hauteur (h) et l'azimut (a) [5]

I.4 L'énergie solaire :

Le soleil une étoile, il a un diamètre environ de 1392000 Km, soit 109,12 fois le diamètre de la terre [6]. Il est une source d'énergie naturelle, renouvelable, inépuisable, gratuite et non polluante (non toxique).

Le soleil produit une énorme quantité d'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique d'un spectre variant de 0,2 µm à 10 µm et ça que l'on désigne par l'énergie solaire [7].

L'énergie solaire est le rayonnement (irradiation) émis dans toutes les directions de la terre par le soleil, la terre reçoit la puissance considérable solaire par une surface perpendiculaire à la direction Terre - Soleil malgré l'énorme distance entre eux.

I.4.1 Le gisement solaire :

Le gisement solaire est un ensemble des données d'écrivant l'écrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée.

Selon les coordonnées géographiques du site :

- Selon le nombre d'années de mesures disponibles.
- Selon la saison et le temps (mois, jour, heure).
- Selon les conditions météorologiques (poussière, humidité …)
- Selon la nature du nombre d'heures d'ensoleillement, composante directe et diffuse et globale du rayonnement solaire, albédo du sol (Figure I.1).

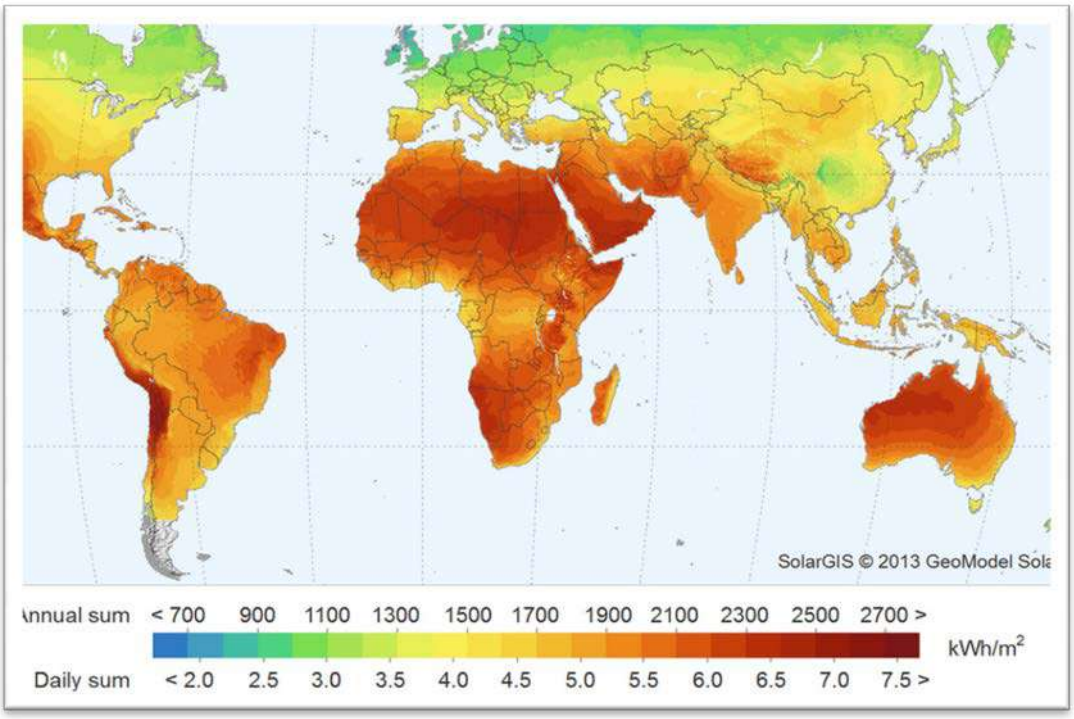


Figure I.5: Carte du monde de l'irradiation horizontale globale [8].

I.4.2 Le rayonnement solaire :

Quel que soit la distance considérable qui sépare le soleil de la terre, la couche terrestre reçoit une quantité d'énergie importante, Le rayonnement solaire se décompose approximativement comme suit :

- 9 % dans la bande des ultraviolets (< a 0.4μm).
- 47 % dans la bande visibles (0.4à 0.8μm).
- 44 % dans la bande des infrarouges (> a 0.8μm)[7].

II y a quatre types de rayonnement solaire :

a) Le rayonnement solaire direct : est reçu directement du solaire, sans diffusion par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles entre eux. Le pyrhéliomètre est l'instrument qui permet de mesurer l'intensité du rayonnement direct.

b) Le rayonnement solaire diffus (indirect) : ce rayonnement est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire par l'atmosphère et a sa réflexion par les nuages. II peut être mesure par un pyromètre avec écran masquant le soleil.

c) Le rayonnement solaire réfléchi (albédo du sol) : c'est la partie du rayonnement solaire incident réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface en raison de l'effet albédo, cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

d) Le rayonnement solaire global : est la somme de tous les rayonnements reçus au sol. II se décompose en rayonnement direct, rayonnement diffus et rayonnement réfléchi. (Figure I.2) [9].

La somme de tous les rayonnements reçus, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets qui trouvent à sa surface. II est mesuré par un pyromètre ou un polarimètre.

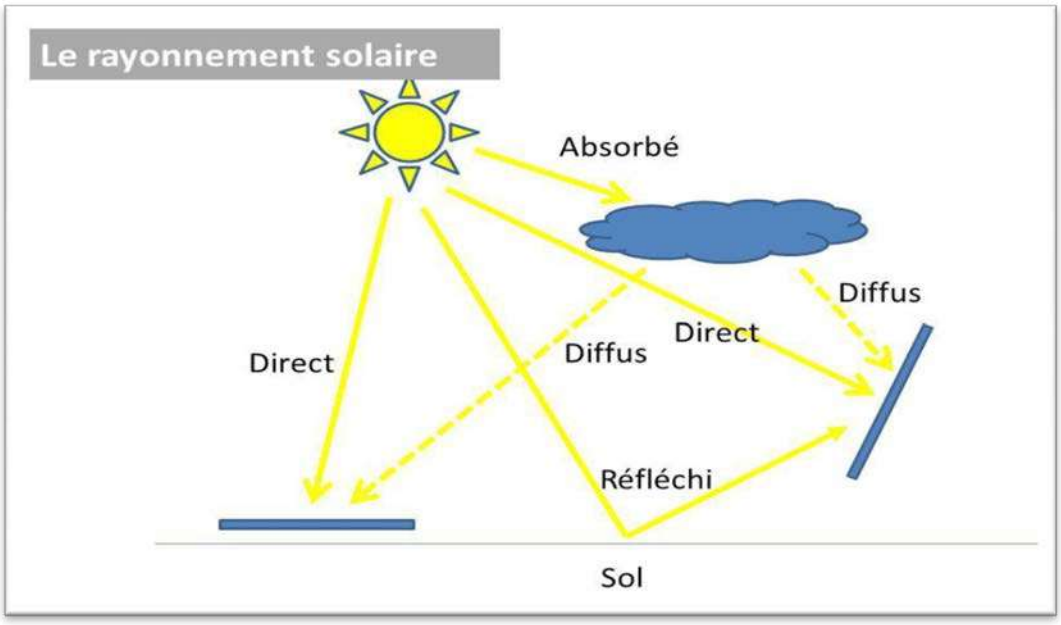


Figure 1.6 : les rayonnements solaires [9].

I.4.3 Technique pour capter l'énergie solaire :

Un panneau solaire est un dispositif électrique qui convertit la lumière incidente provenant du soleil en électricité destiné à récupérer une partie de l'énergie du rayonnement solaire pour la convertir en une forme d'énergie (électrique) utilisable par l'homme. Les panneaux sont habituellement plats d'une surface approchant plus ou moins le m² pour faciliter et optimiser la pose. Les panneaux solaires sont les composants de bases de la plupart des équipements de production d'énergie solaire. En trouve deux genre: Les panneaux solaires photovoltaïques et les panneaux solaires thermoélectriques.

I.5 Les cellules solaires :

Une celle solaire est un dispositif électronique capable de transformer l'énergie solaire en énergie électrique par l'effet photovoltaïque. Elle peut être conçue à base d'une homojonction ou d'une hétérojonction [11].

I.5.1 La structure des cellules solaires :

Une cellule photovoltaïque est constituée généralement de plusieurs couches. On trouve au centre de cette cellule (figure I.7**),** une couche avec porteurs de charges libres négatives (N) en contact avec une autre couche avec porteurs de charge positives(P).

De part et autre du cœur de la cellule, on a une couche conductrice (K) autrement dit une grille métallique. On a donc une couche qui sert de cathode (pole+) recouvrant la couche semi-conductrice dopée N et une couche qui joue le rôle de l'anode (pole-) en dessous la couche semi-conductrice P.

Aussi le matériau semi-conducteur est réflecteur, on place donc un revêtement anti-réflexion sur le dessus de la cellule. Enfin on trouve une couche de verre qui protège la cellule. Ces couvertures de protections sont indispensables car la cellule est très fragile. L'épaisseur totale de la cellule est de l'ordre du millimètre [11].

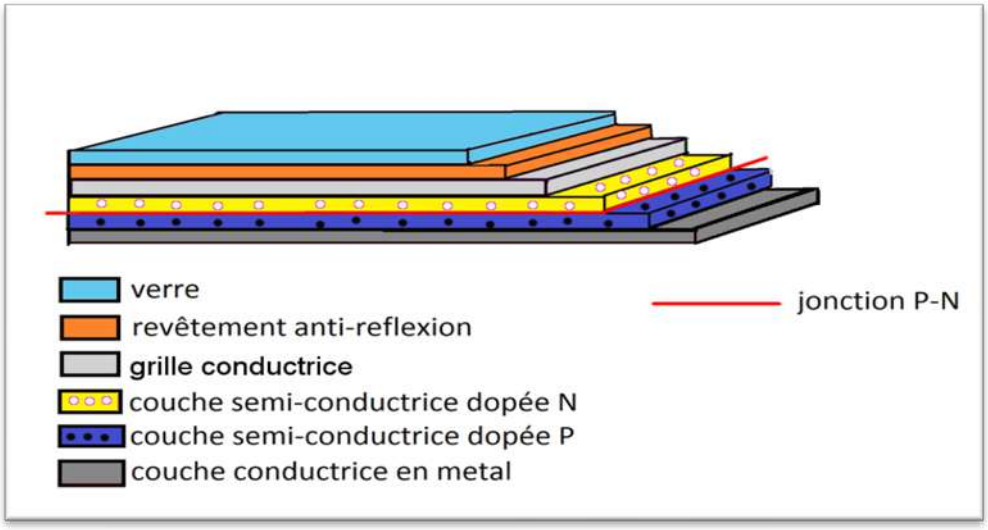


Figure I.7 : structure de la cellule photovoltaïque [12].

I.5.2 Principe de fonctionnement d'une cellule solaire :

La cellule solaire se compose d'un certain nombre de couches, généralement deux couches principales, l'une est constituée d'un semi-conducteur de type P (région 1) et l'autre de type N (région 3). C'est à la jonction ou interface métallurgique de ces deux couches (région 2) que la cellule produit de l'électricité. Les photons créent des porteurs dans chacune des régions 1,2 et 3.

Le comportement de ces porteurs libres diffère suivant de leur création. Dans les zones électriquement neutres P et N, les photo-porteurs minoritaires diffusent. Ceux qui atteignent la région de charge d'espace sont propulsés par le champ électrique vers la région ou ils deviennent majoritaires. Ces photo-porteurs contribuent donc au courant par leur diffusion, ils créent un photo-courant de diffusion.

Dans la zone de charge d'espace. Les paires (électrons -trous) crées par les photons sont dissociées par le champ électrique, l'électron est propulsé vers la région de type N et le trou vers la région de type P. les porteurs donnent naissance à un photo-courant de génération.

Ces deux contributions s'ajoutent pour créer un photo-courant résultant I_{ph}. C'est un courant de porteurs minoritaires. Il est proportionnel à l'intensité lumineuse [13].

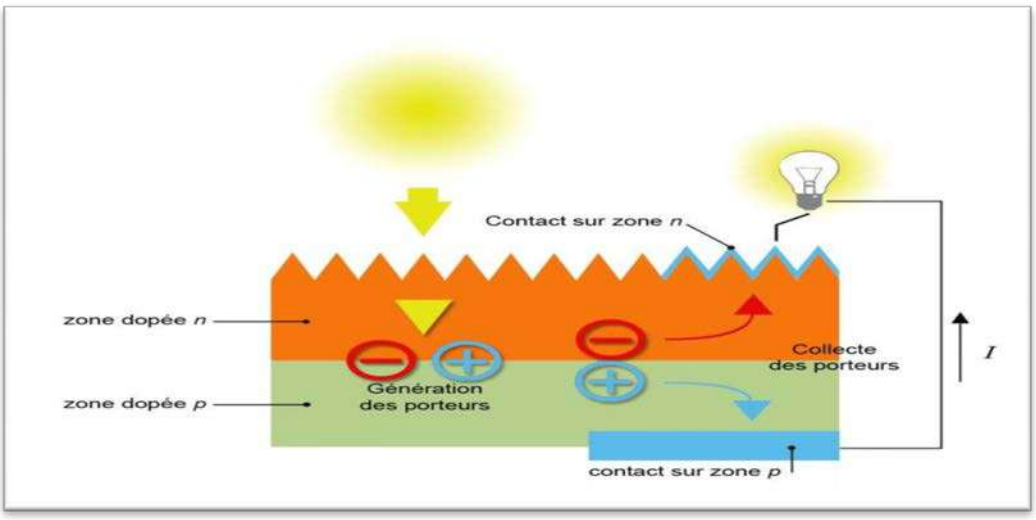


Figure I.8: Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [14].

I.6 L'énergie photovoltaïque :

Le mot photovoltaïque vient du grec, il est compose de deux parties : photos qui signifie lumière et de volta du nom du physicien italien (Alessandro VOLTA) qui découvrit la pile électrique en 1800 et donna son nom à l'unité de mesure de la tension électrique, le volt.

L'énergie solaire photovoltaïque transforme directement le rayonnement solaire lumineux (éclairement) en électricité. Elle utilise pour ce faire des semi-conducteurs ce qui désigne des modules photovoltaïques sont composes de cellules solaires qui réalisent cette conversion d'énergie [10].

I.6.1L'effet photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par le physicien français Edmond Becquerel à partir de plusieurs essais.

Cet effet est un processus physique de base de transformation de l'énergie émise par le soleil, sous forme photons, en énergie électrique a l'aide de composant semi-conducteur appelé cellule solaire [5].

Parmi les matériaux semi-conducteurs les plus utilises on trouve le silicium, le germanium et le Gallium.
L'effet photovoltaïque s'appuie principalement sur trois grands principes, dont l'action combinée, engendre la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique :

- L'absorption de photons.
- La conversion de l'énergie absorbée en charges électriques libres.
- La collecte de ces particules dans un circuit électrique extérieur [10]

I.6.2 Les panneaux photovoltaïques :

Un module photovoltaïque est constitué d'un ensemble de cellules solaires photovoltaïques, sensiblement de même caractéristiques électriques et reliées entre elles électriquement en sérient et/ou parallèle.

I.6.3Les différents types de cellule photovoltaïque :

On distingue actuellement trois principaux types de panneaux photovoltaïques qui sont différenciés par le type des cellules qui les composent. Toutes les cellules sont produites à base de silicium, mais les méthodes de fabrication différentes leurs donnent des caractéristiques très différentes, notamment en termes de productivité.

a. Les cellules monocristallines :

Les cellules monocristallines sont les photopiles de la première génération. Elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé le plus pure en un seul cristal. Elles ont un bon rendement, mais la méthode de production est très compliquée [7].

Avantage :

-très bon rendement.

Inconvénients :

-Cout élevé, rendement faible sous un faible éclairement.



Figure I.9 : Panneau solaire photovoltaïque de type monocristalline [15].

b. Les cellules polycristallines :

Les cellules polycristallines sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Vues de près, on peut voir les orientations différentes des cristaux (tonalités différentes). Elles ont un rendement de 11 à 13%, mais leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallines. Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Ce genre de cellule est bleu, mais n'est pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux.

Avantage :

-Bon rendement 13%, mais cependant moins bon que le monocristalline.

-Moins cher que le monocristalline.

-Meilleur rapport qualité/prix.

Inconvénient :

-Rendement faible sous un faible éclairement.

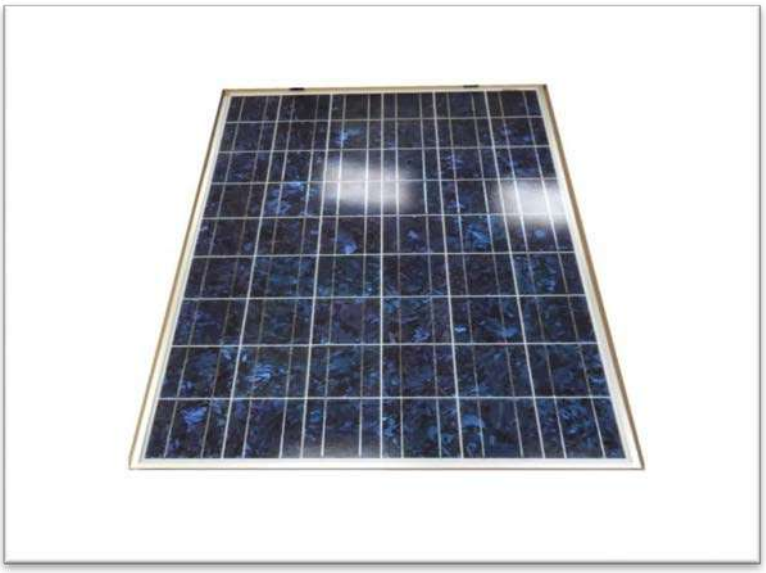


Figure I.10 : Panneau solaire photovoltaïque de type polycristalline [16].

c. Les cellules amorphes :

Ces cellules sont composées d'un support en verre ou en matière synthétique sur lequel est disposé une fine couche de silicium (l'organisation des atomes n'est régulière comme dans un cristal). Leur rendement est de l'ordre de 5 à10%, plus bas que celui des cellules cristallines. Elles sont appliquées dans les petits produits de consommation (montres, calculatrices) mais sont peu utilisées dans le cadre des installations solaires.

Avantage :

-fonctionnent avec un éclairement faible (même par temps couvert ou à l'intérieur d'un bâtiment)

-moins chères que les autres.

Inconvénients :

-Rendement faible en plein soleil (environ 6%).

-Performances qui diminuent sensiblement avec le temps.

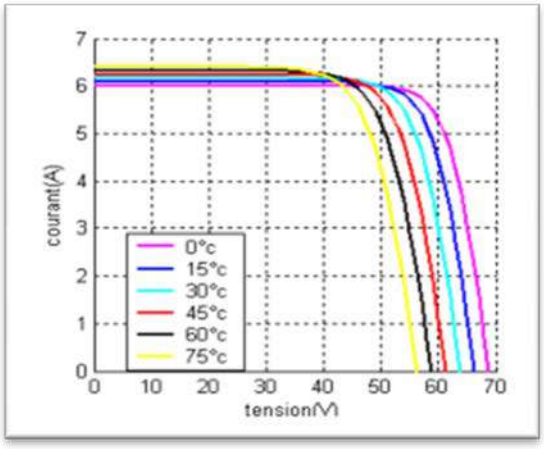


Figure I.11 : Panneau solaire photovoltaïque de type amorphe [17].

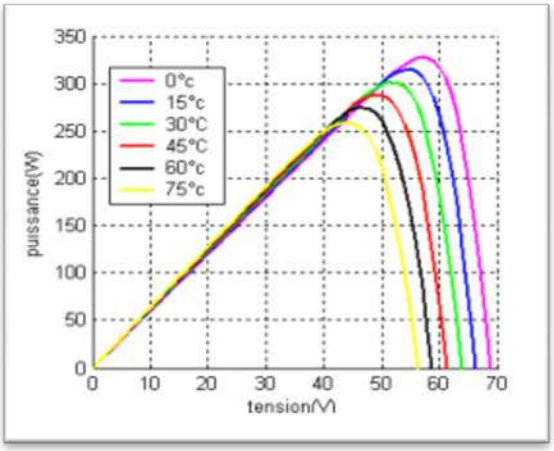
I.6.4 Le rendement d'un panneau photovoltaïque :

Comme on l'a mentionné déjà, le rendement des panneaux photovoltaïques varie selon la technologie utilisée dans la fabrication des cellules solaires mais il y'a d'autre facteurs qui influent sur leur rendement :

- **Influence de la température :** la température a une influence considérable sur le comportement du module photovoltaïque et donc sur son rendement. Le figure (I.11) représentent les caractéristiques courant-tension et puissance-tension d'un module sous un éclairement fixe de 1W/m^2, et à des températures comprises entre 0°C et 75°C. On remarque que le courant augmente avec la température; par contre la tension de circuit ouvert diminue. Ceci entraîne une diminution de la puissance maximale disponible [18].



La caractéristique I(V)

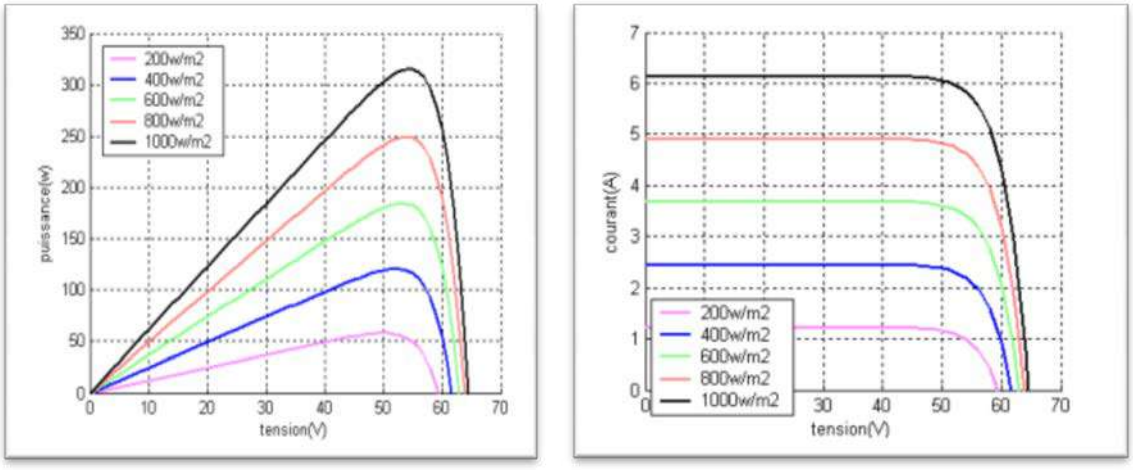


La caractéristique P(V)

Figure I.12 : L'influence de température [18].

- **Influence de l'éclairement :**La puissance délivrée par une cellule PV dépend de l'irradiation qu'elle reçoit. Le figure (I.12) représente la caractéristique I-V et P-V d'un module PV en fonction de l'éclairement, à une température T=25°C obtenus pour diverses valeurs de l'éclairement.

Quand l'ensoleillement augmente, l'intensité du courant photovoltaïque croît, les courbes I-V se décalent vers les valeurs croissantes permettant aux cellules de produite une puissance électrique plus importantes. Notons aussi la légère diminution de la tension du circuit ouvert suit à la diminution du flux lumineux.



La caractéristique P(V) La caractéristique I(V)

Figure I.13: L'influence de l'éclairement [18].

- **Influence Positionnement :** l'énergie fournie par le panneau PV dépend fortement de la quantité d'éclairement solaire absorbée par ce dernier. Cette quantité dépend de l'orientation du panneau par rapport au soleil. Pour collecter le maximum d'énergie, le panneau PV doit être constamment orienté perpendiculairement aux rayons solaires (figure I.13).

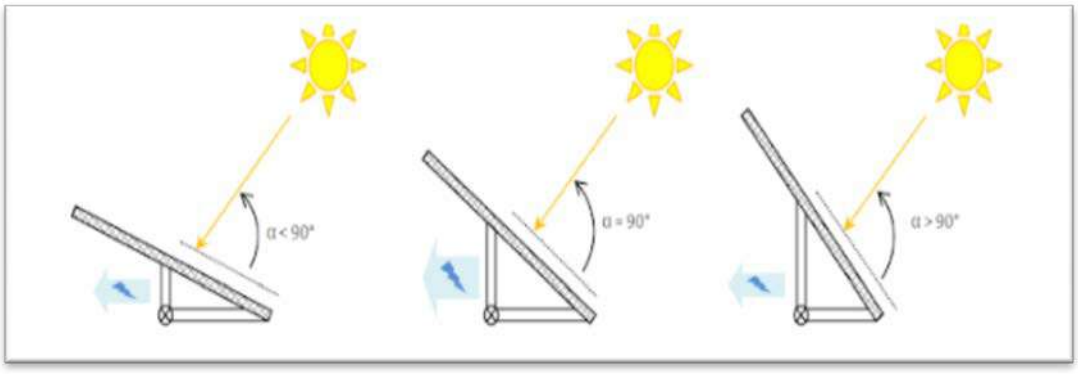


Figure I.14: Dépendance des performances d'un panneau PV de l'angle α [19].

Avec : **α** est l'angle formé entre le plan du panneau et les rayons lumineux incidents.

L'angle optimal correspond à un angle de 90°. Chaque fois que cet angle diminue ou augmenter, la surface (m^2)du panneau exposé aux rayons diminue et donc en partant de la puissance produite, le rendement diminue aussi (figure I.13) [3].

- **Influence de positionnement (angle d'inclinaison) :** un autre facteur qui influence sur les performances du panneau PV est l'angle d'inclinaison qui correspond à l'angle formé par le plan du panneau solaire par rapport à l'horizontal (le plan du sol).

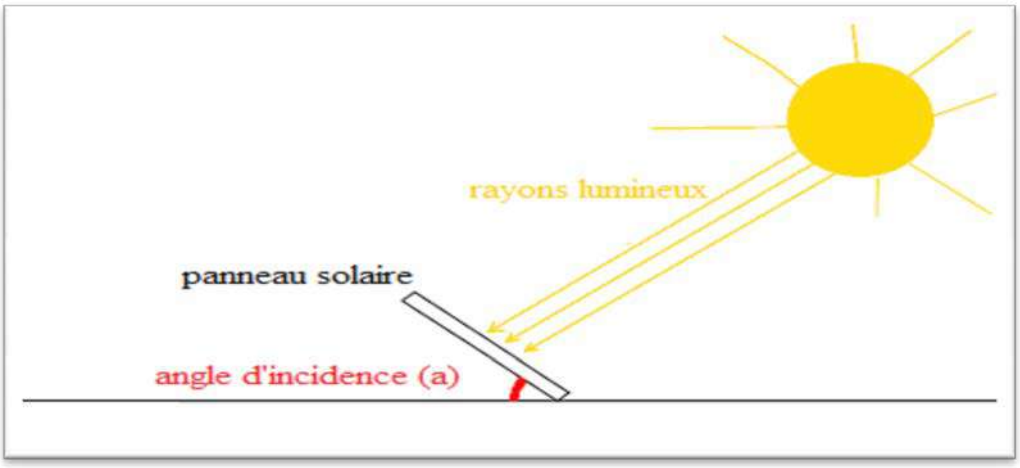


Figure I.15 : Représentation de l'angle d'inclinaison (a) [20].

En effet, l'angle d'inclinaison est plus réduit en été et plus important en hiver [3].

I.7 La maintenance et nettoyage de panneau photovoltaïque :

I.7.1 Maintenance de panneau photovoltaïque :

La technologie photovoltaïque est réputée fiable et sans entretien lourd, des opérations de maintenance légères sont tout de même à conduire pour prévenir d'éventuelles anomalies et s'assurer que les organes de sécurité sont en état de fonctionnement.

I.7.2 Pollution des panneaux solaires :

- La souillure de la surface des panneaux solaires est un phénomène complexe qui varie d'après le climat et l'environnement.
- Une surface située dans un environnement sec et aride sera soumis à un matériel électrostatique chargé et non-organique.
- Une surface située dans un environnement côtier sera caractérisée par des retombées de sels et des poussières transportée par le vent.

- Une surface dans un environnement frais et industriel sera couverte de salissures organiques transportée par le vent, les traces de pluies évaporées et de pollution atmosphérique suite à la combustion fossile.
- En général, les salissures d'une surface exposée à ciel ouvert (comme un panneau solaire) sont constituées d'un mélange de matières organiques et non-organiques. Certains de ces matériaux seront suspendus dans le vent, tandis que d'autres seront déposés après évaporation (pluie, eau, dégel, brouillard).

I.7.3 Nettoyage de panneau photovoltaïque :

L'énergie solaire de différentes études démontrent que les panneaux solaires perdent entre 5 et 16% de leur efficacité en raison de l'accumulation des saletés et les poussières qui se déposent sur les panneaux ainsi que sur les bords des cadres [21].

La technologie mondiale est concentrée sur le nettoyage direct et périodique des panneaux solaires, mais cette méthode peut endommage si la procédure et les produit utilisé ne sont pas respectés [22].

Il existe différentes façons de nettoyer les panneaux solaires tels que :

- **Nettoyage Manuel :** il se fait par brossage manuel



Figure I.16 : Nettoyage manuel [23].

❖ **Nettoyage Semi-Automatique :** ou l'humain contrôle le processus de nettoyage.



Figure I.17 : Nettoyage semi-automatique [24].

❖ **Nettoyage Automatique :** il détecte la poussière et effectue le processus de nettoyage automatiquement sans intervention humaine.



Figure I.18 : Nettoyage automatique [25].

I.8 Les avantages et les inconvénients de l'énergie photovoltaïque :

La technologie photovoltaïque présente un grand nombre d'avantages à savoir :

✓ L'énergie photovoltaïque est renouvelable gratuite.

✓ Les systèmes photovoltaïques peuvent être installés partout, même en ville.

✓ L'énergie photovoltaïque offre une solution pratique pour obtenu de l'électricité dans les cités isolés.

✓ L'électricité photovoltaïque est produite au plus près de son lieu de consommation de manière décentralisé, directement chez l'utilisateur.

✓ Les systèmes photovoltaïques sont extrêmement fiables.

✓ La durée de vie des panneaux photovoltaïques est très longue.

Cependant, il existe aussi des inconvénients pour l'énergie photovoltaïque :

- ✓ La fabrication du module photovoltaïque relevé de la haute technologie est requiert des investissements d'un coût élevé.
- ✓ Le rendement réel de conversion d'un module est faible.
- ✓ Ils sont très sensibles.

I.9 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons vu des notions de base sur l'énergie solaire et ses caractéristiques ainsi que le système photovoltaïque, les cellules photovoltaïques et sa maintenance.

Et ont été décrit ainsi que les avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.

Chapitre II

Etude de partie matérielles et logicielles

II.1.Introduction :

L'un des plus gros problèmes des cellules solaires est la poussière, qui provoque une diminution sévère de l'efficacité du panneau. Et aussi le processus de nettoyage est rare, difficile et coûteux, nous avons donc pensé à une solution qui serait plus rapide, plus facile et moins cher, donc l'idée de notre projet est de faire un système portable sur des cellules solaires pour que ce système à constituer d'une partie mécanique qui sert à supporter le robot et le déplacer dans quatre direction au même temps la rotation de la brosse nettoyeur et d'une partie électronique constituée de Bluetooth, une carte microcontrôleur ‹‹Arduino›› et des moteurs électriques.

Dans ce chapitre, nous allons présenter une vue d'ensemble du composants Ainsi que les différents logiciels nécessaires pour la programmation de dispositif expérimental que nous avons réalisé, soit : **conception et réalisation d'un robot nettoyeur de panneaux solaires.**

II.2 Description de la partie matérielle :

II.2.1Circuit de commande :

Le circuit de commande de notre système est base complètement sur la carte Arduino. L'Arduino est une plate-forme électronique open source accompagnée d'un matériel (hardware) et d'un logiciel (software) pour concevoir, développer et tester des prototypes et produits électronique complexes.

Le hardware se compose principalement d'une carte Arduino et le software se compose d'un environnement de programmation unique regroupant éditeur de code, compilation de debug, un langage C/C++ compatible avec d'autres sources et des bibliothèques de code open source permettant d'étendre les fonctionnalités du micro-contrôleur [10].

L'avantage de ce circuit programmable est de simplifier les schémas électroniques et par conséquent réduire l'utilisation des composants électroniques. Pour notre projet on a utilisé la carte programmable Arduino de type Mēga.

a) Caractéristiques de la carte Arduino Méga:[26]

Tableau II.1 : Les caractéristiques d'Arduino Méga.

Microcontrôleur	ATmega2560
Tension d'alimentation interne	5V
Tension d'alimentation externe	7à12V
Entrées /sorties numériques	54dont 14 sorties PWM
Entrées analogiques	16
Courant max par broches E/S	20 mA
Courant max sur sortie3.3V	50Ma
Mémoire flash	256 Ko dont 8 Ko utilisé par bootloader
Mémoire SRAM	8 ko
Mémoire EEPROM	4 ko
Fréquence horloge	16MHz

b) Description de la carte Arduino Mēga : [26]

Le modèle Mēga de la société ARDUINO est une carte électronique dont le cœur est un microcontrôleur ATMEL de référence ATMega2560. Ce dernier est un microcontrôleur 8bits de la famille AVR dont la programmation peut être réalisée en langage C.

➢ **Le microcontrôleurATMega2560 :**C'est un circuit intégré qui rassemble sur une puce plusieurs éléments complexes dans un espace réduit, c'est le processeur de la carte, s'occupe de tout ce qui est calculs, exécution des instructions du programme et gestion des ports d'entrée/sortie.



Figure II.1 : Microcontrôleur ATmega2560.

➢ **Les mémoires :**

- **Une mémoire Flash:** pour stocker le programme (dont 8Ko également utilisés par le bootloader)
- **SRAM:**8 ko (volatile).
- **EEPROM:** 4Ko (non volatile - mémoire qui peut être lue à l'aide de la librairie EEPROM).

➢ **Les sources de l'alimentation de la carte:** La carte Arduino Mega2560 peut être alimentée soit via la connexion USB (qui fournit 5V jusqu'à 500mA) ou à l'aide d'une alimentation externe. La source d'alimentation est sélectionnée automatiquement par la carte.

La carte peut fonctionner avec une alimentation externe de 6 à 20 volts. Cependant, si la carte est alimentée avec moins de 7V, la broche 5V pourrait fournir moins de 5V, et la carte pourrait être instable. Si on utilise plus de 12V, le régulateur de tension de la carte pourrait chauffer ce dernier.

Les broches d'alimentation sont les suivantes :

- **VIN :** La tension d'entrée positive lorsque la carte Arduino est utilisée avec une source de tension externe (à distinguer du 5V de la connexion USB ou autre source 5V régulée).
- **5V :** La tension régulée utilisée pour faire fonctionner le microcontrôleur et les autres composants de la carte. Le 5V régulé fourni par cette broche peut donc provenir soit de la tension d'alimentation VIN via le régulateur de la carte, ou bien de la connexion USB ou de tout autre source d'alimentation régulée.
- **3.3V :** Une alimentation de 3.3V fournie par le circuit intégré FTDI (circuit intégré faisant l'adaptation du signal entre le port USB de votre ordinateur et le port série de l'ATmega) de la carte. L'intensité maximale disponible sur cette broche est de 50Ma
- **GND :** Broche de masse (0V).

➢ **Les entrées et sorties numériques :** Chacune des 54 broches numériques de la carte Méga peut être utilisée soit comme une entrée numérique, soit comme une sortie numérique. Ces broches fonctionnent en 5V. Chaque broche peut fournir ou recevoir un maximum de 40mA d'intensité et dispose d'une résistance interne de "rappel au plus" (pull-up) (déconnectée par défaut) de 20-50 KOhms. Cette résistance interne s'active sur une broche en entrée à l'aide de l'instruction digitalWrite (broche, HIGH).

De plus, certaines broches ont des fonctions spécialisées :

- **Communication Série:** Port Série Serial : 0 (RX) et 1 (TX), Port Série Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX), Port Série Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX), Port Série Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX).
- **Interruptions Externes:** Broches 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), et 21 (interrupt 2).Ces broches peuvent être configurées pour déclencher une interruption sur une valeur basse, sur un front montant ou descendant, ou sur un changement de valeur.
- **Impulsion PWM (largeur d'impulsion modulée):** Broches 0 à 13. Fournissent une impulsion PWM 8-bits à l'aide de l'instruction analogWrite().
- **SPI (Interface Série Périphérique):** Broches 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Ces broches supportent la communication SPI (Interface Série Périphérique).
- **I2C:** Broches 20 (SDA) et 21 (SCL). Supportent les communications de protocole I2C.
- **LED:** Broche 13. Il y a une LED incluse dans la carte connectée à la broche 13.

➢ **Bronches analogiques :**La carte Mega2560 dispose de 16 entrées analogiques, chacune pouvant fournir une mesure d'une résolution de 10 bits (1024 niveaux soit de 0 à 1023) à l'aide de la très utile fonction analogRead() du langage Arduino. Par défaut, ces broches mesurent entre le 0V (valeur 0) et le 5V (valeur 1023). Les broches analogiques peuvent être utilisées en tant que broches numériques.

➢ **Autre bronches :**Il y a deux autres broches disponibles sur la carte :

- **AREF :** Tension de référence pour les entrées analogiques (si différent du 5V). Utilisée avec l'instruction analogReference().
- **Reset:** Mettre cette broche au niveau BAS entraîne la réinitialisation du microcontrôleur. Comme un port de communication virtuel pour le logiciel sur l'ordinateur, La connexion série de l'Arduino est très pratique pour communiquer avec un PC, mais son inconvénient est le câble USB, pour éviter cela, il existe différentes méthodes pour utiliser ce dernier sans fil.

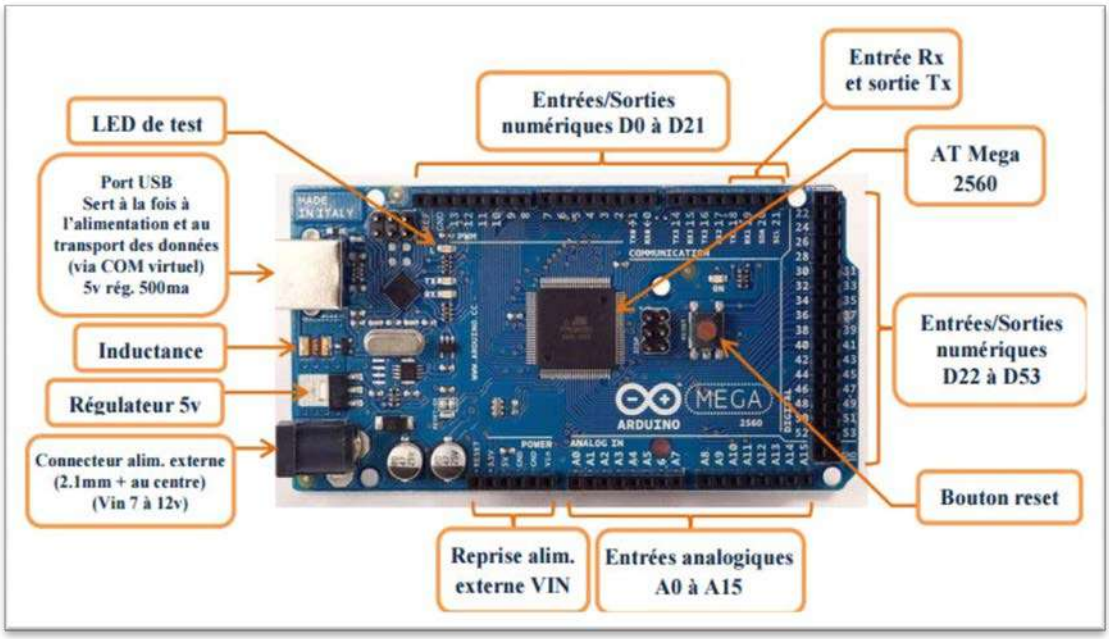


Figure II.2 : Description d'une carte Arduino Méga.

II.2.3. Le module Bluetooth HC-06 :

a) Définition :

Le Bluetooth est un protocole de communication sans fil, permettant l'échange bidirectionnel de données à une distance bien précise (15 à 20 mètres), en utilisant des ondes radio UHF sur une bande de fréquence de 2.4 GHz. Son objectif est de simplifier les connexions entre les appareils électroniques en supprimant les liaisons filaires.

La norme « Bluetooth » fut mise au point en 1994 par le fabricant Suédois Ericsson à Lund. Le terme signifie littéralement en français : « dent bleue » et fait référence au roi danois Harald 1er qui justement avait une dent bleue.

Plusieurs version des Bluetooth sont développées jusqu'à aujourd'hui.

b) Description du module Bluetooth HC-06 :

Le module Bluetooth HC-06 permet d'établir une liaison Bluetooth (liaison série) entre une carte à microcontrôleur et un autre équipement possédant une connexion Bluetooth (Smartphone, tablette, etc.…). Lemodule HC-06 est un module «esclave » qui ne peut recevoir que des demandes d'appairage, contrairement au un module « maitre »peut demander à un autre élément Bluetooth de s'appairer avec lui.

Le HC-06 possède quarte broches dont deux sont utilisées pour l'alimentation (Vcc) et la masse (GND) et les autres pour la transmission et la réception des données (TX,

RX). La tension d'alimentation est comprise entre 3.3 et 5V, mais la broche RX ne peut recevoir qu'une tension maximale de 3.3V, donc pour cela il faudra utiliser un pont diviseur de tension pour ne pas endommager la broche RX du module Bluetooth [27].

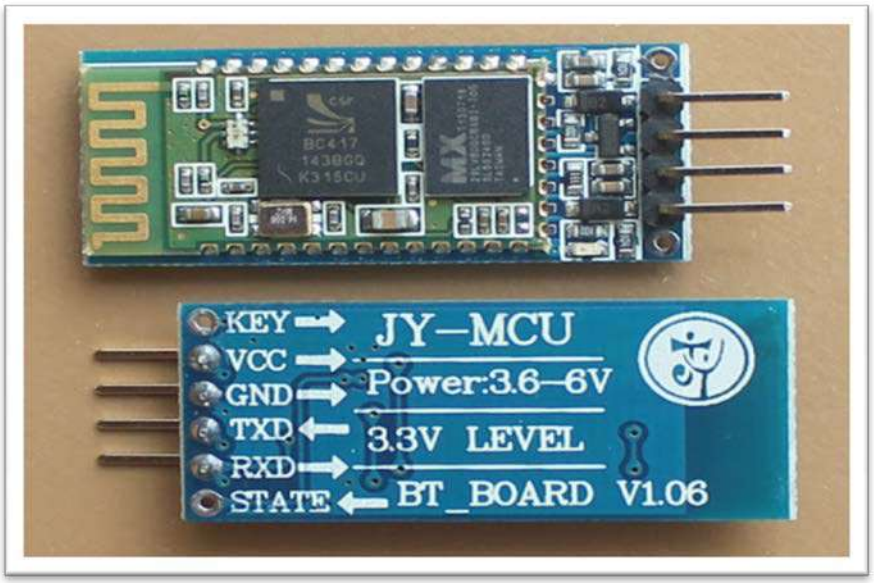


Figure II.3 : Bluetooth HC-06.

c) Caractéristiques du module Bluetooth HC-06 :

Tableau II.2 : Les caractéristiques du Bluetooth HC-06 [28]

Nombre de broches	4
Dimensions	37.7 x 15.2 mm
Alimentation Min	3.6 V
Alimentation Max	6V (jamais plus de 7V)
Courant absorbé	30 Ma
Distance effective	20 mettre (dans la zone ouverte)
Longueur d'onde	2.4 GHz à 2.8 GHz
Température	-40 à +105 °C
Les vitesses de transmission possibles	1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800, 921600, 1382400 bauds (bits /s)

II.2.4 Le circuit intégré L293D : [29]

a) Description du circuit intégré L293D :

Le composant L293D est un pont de puissance et composée d'un double pont-H permet de contrôler le sens et la vitesse (PWM) de rotation d'un ou deux moteurs au maximum. Dans ce principe de base, le pont H est un assemblage de 4 transistors (2 PNP et 2 NPN) monté d'une façon permettant de circuler le courant dans les deux sens.

b) Caractéristiques du L293D :

Tableau II.3 : Les caractéristiques du L293D

Nombres de broches	16
Dimension	22 x10 mm
Nombres de pont H	2
Vs Min alimentation moteur	4.5 V
Vs Max alimentation moteur	36 V
Vss Min alimentation logique	7 V
Vss Max alimentation logique	36 V
Courant max régime continu	600 Ma
Température	0°C à 70° C

c) La manuelle de L293D :

Le L293D est un boitier qui se compose de 16 broches :



Figure II.4 : Datasheet de L293D.

1. **Enable1 :** permet d'envoyer ou pas la tension sur les sorties du moteur via output1 et output2 et commande l'activation et désactivation du 1er pont H. Si Enable1=GND, le pont H et déconnecté et le moteur ne fonctionne pas. Si Enable1=VSS, le pont H est connecté aux sorties le moteur fonctionne dans un sens ou l'autre ou pas en fonction des tensions appliquée sur INPUT1 et INPUT2.
2. **INPUT1 :** avec INPUT2, sont les broches de commandes du pont H output1/output2. Il sera directement brancher au microcontrôleur pour commander le sens du courant entre output1 et output2.
3. **Output1 :** sera branché directement sur le moteur.
4. **GND :** qui doit être raccordé à la masse de la source d'alimentation de puissance et à la masse de la source d'alimentation de la logique.
5. **GND**
6. **Output2 :** sera branché directement sur le moteur.
7. **Input2 :** avec input1, sont les broches de commande du pont H output1 et output2. Ils seront directement brancher au microcontrôleur pour commander le sens du courant entre output1 et output2.
8. **V_{CC1} (Vs) :** alimentation de puissance des moteurs.
9. **Enable2 :** commande l'activation du second pont H constitué de output3 et output4.
10. **Input3 :** avec input4, sont les broches de commande du pont H output3 et output4. Ils seront directement brancher au microcontrôleur pour commander le sens du courant entre output3 et output4.
11. **Output3 :** avec output4, seront brancher directement sur le moteur.
12. **GND**
13. **GND**
14. **Output4 :** avec output3, seront brancher directement sur le moteur.
15. **Input4 :** avec input3, sont les broches de commande du pont H output3 et output4. Ils seront directement brancher au microcontrôleur pour commander le sens du courant entre output3 et output4.
16. **V_{CC2} (Vss) :** alimentation de la logique de commande (5V). A raccorder à la borne 5V du microcontrôleur.

II.2.5 Les moteurs à courant continu : [30][31]

Un moteur à courant continu (MCC) appelé aussi moteurDC est une machine électrique.

Il s'agit d'un convertisseur électromécanique permettant la conversion bidirectionnelle d'énergie entre une installation électrique parcourue par un courant continu et un dispositif mécanique, selon la source d'énergie.

L'usage des moteurs à courant continu est plutôt restreint, car la distribution se fait à courant alternatif.

Cependant, pour certaines applications il est parfois avantageux d'utiliser des moteurs à courant continu alimentés par des convertisseurs qui transforment le courant alternatif en courant continu. La supériorité de ces moteurs réside dans le fait qu'ils se prêtent facilement à un contrôle souple, continu et presque instantané de leur vitesse.

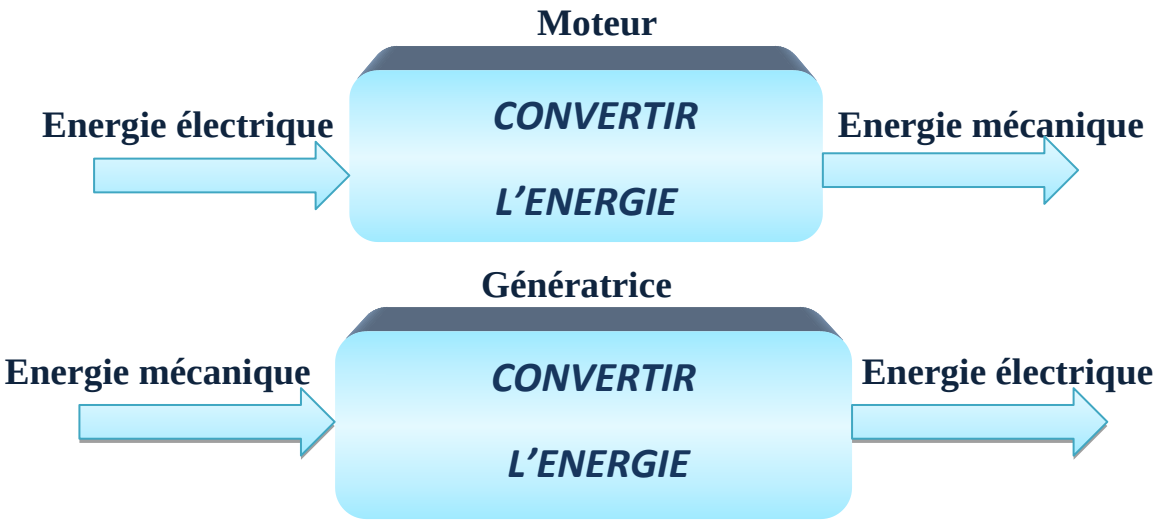


Figure II.5 : Fonctionnement de moteur à courant continu**.**

a) Constitution d'un moteur à courant continu:

Le moteur à courant continu est constitué de trois parties principales :

- L'inducteur.
- L'induit.
- Le dispositif collecteur / balais.

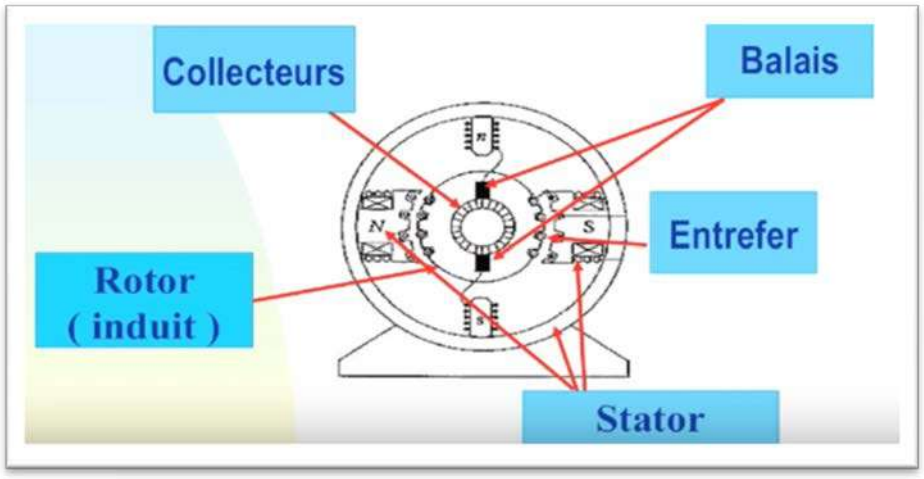


Figure II.6 : Constitution d'un moteur à courant continu.

- **L'inducteur (stator) :**L'inducteur est la partie fixe du moteur. Il est constitué d'un aimant permanent ou d'un électroaimant alimenté par le courant continu d'excitation.



Figure II.7 : L'inducteur de la machine à courant continu.

- **L'induit (rotor) :** Le rotor cylindrique est composé de tôles isolées entre elles et munies d'encoches dans lesquelles sont réparties les conducteurs. Parcourus par un courant (I), ceux-ci créent le champ magnétique dit rotorique.

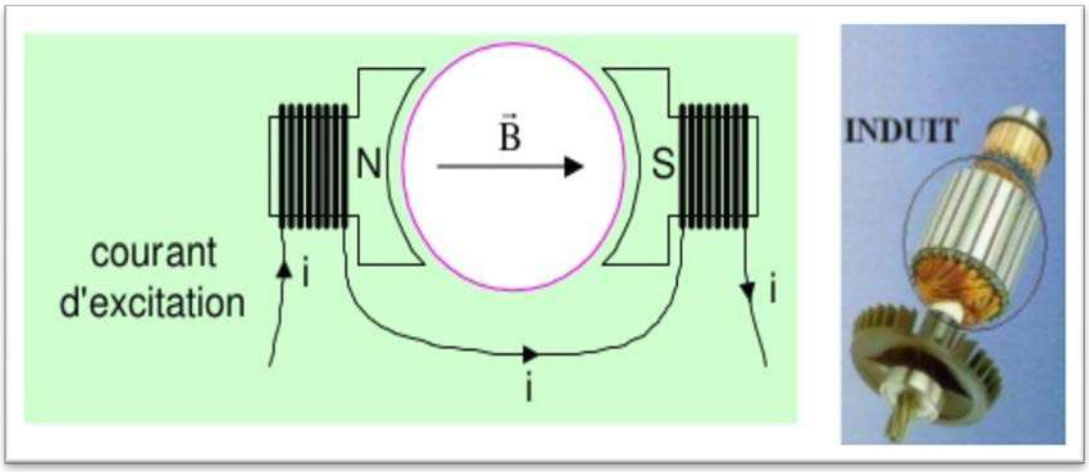


Figure II.8 : Le rotor de la machine à courant continu.

- **Le dispositif collecteur/balais :**Le collecteur est un ensemble de lames de cuivre où sont reliées les extrémités du bobinage de l'induit. Les balais (ou charbons) sont situés au stator et frottent sur le collecteur en rotation.

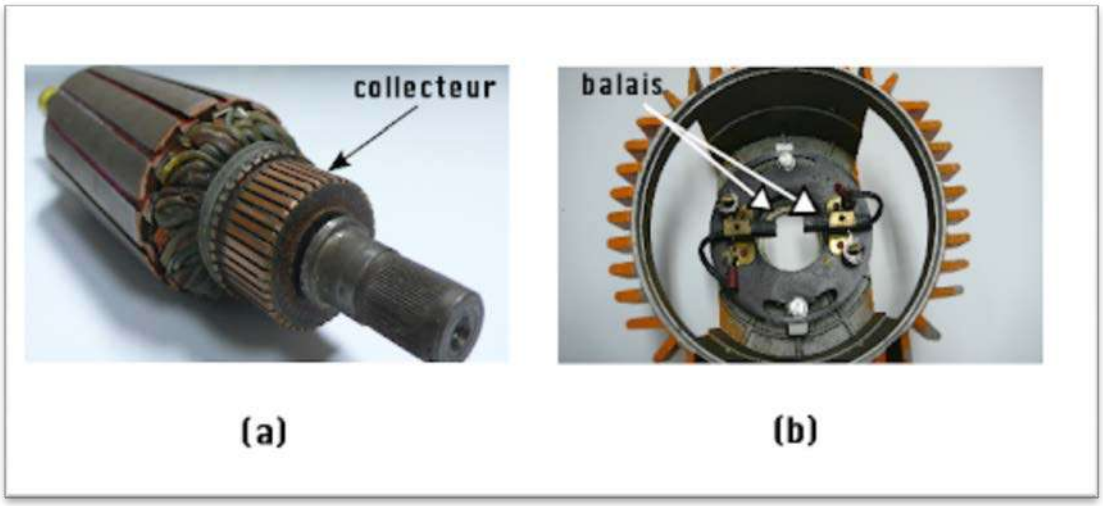
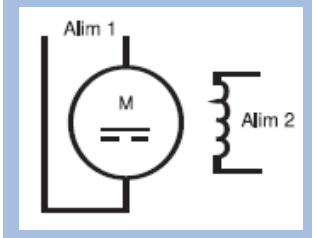
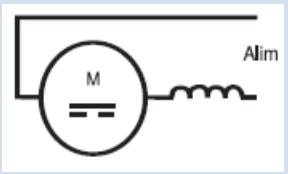


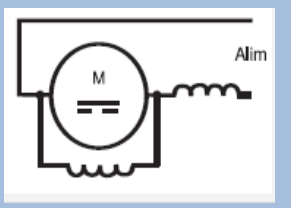
Figure II.9 : Le dispositif collecteur (a) / balais (b).

b) Les différents types de moteurs :

Il existe 3 types différents de moteurs électriques qui sont classés en fonction du type d'excitation qui est employé, qui sont dans le tableau suivant :

Tableau II.4 : Les types de MCC

Type de moteur	Définition et caractéristique	Domaine d'application	Schéma équivalent
Moteur a excitation séparée	- L'inducteur est alimenté par une source indépendante. -Grande souplesse de commande. -Large gamme de vitesse. -Utilisé en milieu industriel. -Associé avec un variateur électronique de vitesse et surtout sous la forme moteur d'asservissement.	Machines- outils: moteur de broche, machines spéciale, d'axes.	
Moteur à excitation série	-L'inducteur connecté en série avec l'induit, le flux d'excitation y est donc implicitement asservi au couple fourni. -Le bobinage inducteur comporte, dans ce cas, peu de spires, mais il est réalisé avec du fil de gros diamètre (robustesse). - Le moteur série est un autorégulateurs de puissance. - possède un fort couple de démarrage mais risque l'emballement à vide. - Le couple du moteur série ne dépend pas de la tension d'alimentation. -Le couple résistant	Engins de levage (grues, palans, ponts roulants) ventilateurs, pompes, centrifuges, traction.	

	croit rapidement avec la vitesse. - La vitesse décroit quand la charge augmente. -Supporte bien les surcharges.		
Moteur a excitation composée	-L'inducteur est divisé en deux parties, l'une connectée en série et l'autre en parallèle. - Entraînements de grande inertie. - Couple très variable avec la vitesse.	petit moteur à démarrage direct, ventilateur, pompes, ma chines de laminoirs, volants d'inertie	

II.2.6 Les motoréducteurs :[32]

Un moteur électrique est bien souvent très rapide en rotation, même si on réduit sa vitesse de rotation, le moteur ne va pas pouvoir supporter des charges lourdes. Pour avoir du couple, tout en réduisant la vitesse de rotation, on va utiliser ce que l'on appelle un réducteur. Un réducteur est un ensemble composé d'engrenages qui permet de réduire la vitesse de rotation de l'axe du moteur tout en augmentant le couple de sortie.

Les motoréducteurs sont des moteurs à courant continu mais avec a réducteur. Celui-ci va réduire la vitesse de rotation du moteur grâce à un système d'engrenage. On peut-on contrôler la vitesse de robot pour optimiser ses capacités. Dans ce cas on n'a pas besoin de faire varier la tension ce qui simplifie encore le robot pour les même capacités.

L'idée d'un groupe moteur - réducteur date de l'année **1928**, le brevet a été déposé par le constructeur et entrepreneur allemand **Albert Obermoser**. Il est l'inventeur du "Moteur à engrenage".

Sur figure, on peut observer un ensemble moteur + réducteur + roue :

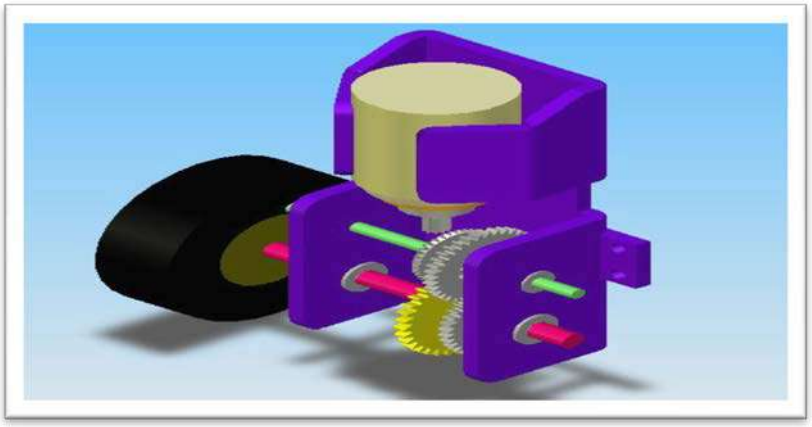


Figure II.10 : Motoréducteur + roue.

a) Fonctionnement de moteur réducteur :

Un réducteur s'apparente à un système qui modifie deux grandeurs qui sont liées : le couple et la vitesse. On peut schématiser le fonctionnement d'un réducteur de la manière suivante :

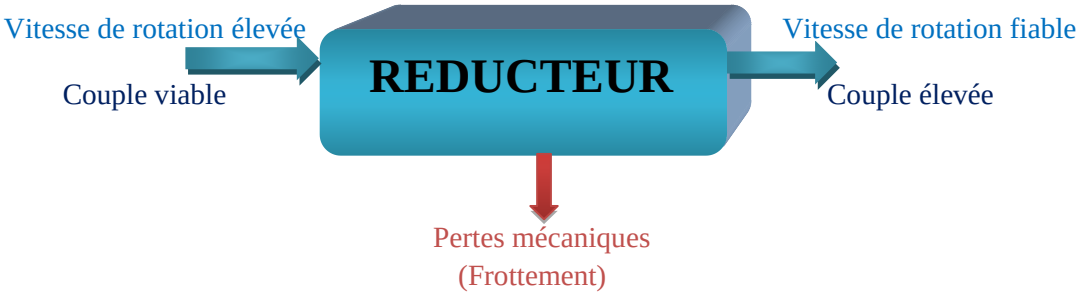


Figure II.11 : Schéma d'un réducteur

b) Les différents types de motoréducteur :

C'est avant tout le sens de transmission de la force qui détermine le type de motoréducteur. Les réducteurs sont répartis en trois types de construction de base :

- Réducteur à arbres parallèles.
- Réducteur à renvoi d'angle.
- Réducteur planétaire.

II.2.7 Pompe à eau :[33]

Les pompes sont des machines servant à véhiculer les fluides qu'ils soient chauds ou froids, propres ou sales. Elles effectuent cette opération de manière extrêmement efficace et préservent l'environnement en l'aspirant puis le refouler a une certaine pression.

a) Description de pompe à eau à courant continu :

C'est une pompe sans balai à courant continu, un matériau plastique de qualité adoptée, des composants électroniques avancés et un arbre résistant à l'usure, robuste et durable.



Figure II.12 : Pompe à eau à CC.

b) Fonctionnement d'une pompe à eau à CC :

Pompe à CC à fonctionnement régulier, rendement élevé, bonnes performances, longue durée de vie.

La pompe de circulation du spa peut fonctionner en continu pendant longtemps, à faible bruit, sans danger et pour l'environnement. Appliquer largement dans les stations de base mobiles, les refroidisseurs, les lave-vaisselle, les réfrigérateurs électroniques, les équipements de santé, les systèmes de refroidissement par eau, etc.

La pompe à eau CC peut détecter intelligemment sans eau, protection bloquée, pas d'eau basse vitesse ou arrêt en cours d'exécution.

c) Caractéristiques d'une pompe à eau à CC :

Tableau II.5 : Les caractéristiques d'une pompe à eau à CC.

Tension d'entré	DC 24V
Puissance d'entré	12-30W
Max Tête	8 m
Débit	12L/Min (m^3/h)
Diamètre d'aspiration	13.4 (mm)
Chemin de drainage	10.2 (mm)

II.3 Description de la partie logicielle :

Notre réalisation software a besoin de deux étapes : la première consiste a un programme qui va s'injecter aux microcontrôleurs de la carte Arduino après avoir été convertie par le IDE en code HEX et la deuxième a un programme qui va manipule sous App Inventor et s'installe sous smart phone.

II.3.1 Le logiciel IDE Arduino : [34]

Un IDE (environnement de développement intégré) est un logiciel open source fonctionnant sur divers systèmes (Windows, Linux et Mac). Libre et gratuit est distribué sur le site d'Arduino.

a) Le langage de programmation:

Le langage de programmation utilisé est le C++, et lié à la bibliothèque de développement Arduino, permettant l'utilisation de la carte et de ses entrées/sorties. La mise en place de ce langage standard rend aisé le développement de programmes sur les plates-formes Arduino, à toute personne maîtrisant le C ou le C++.

b) Interface de l'IDE :

L'interface de l'IDE Arduino est plutôt simple (voir Figure II.16), il offre une interface minimale et épurée pour développer un programme sur les cartes Arduino.

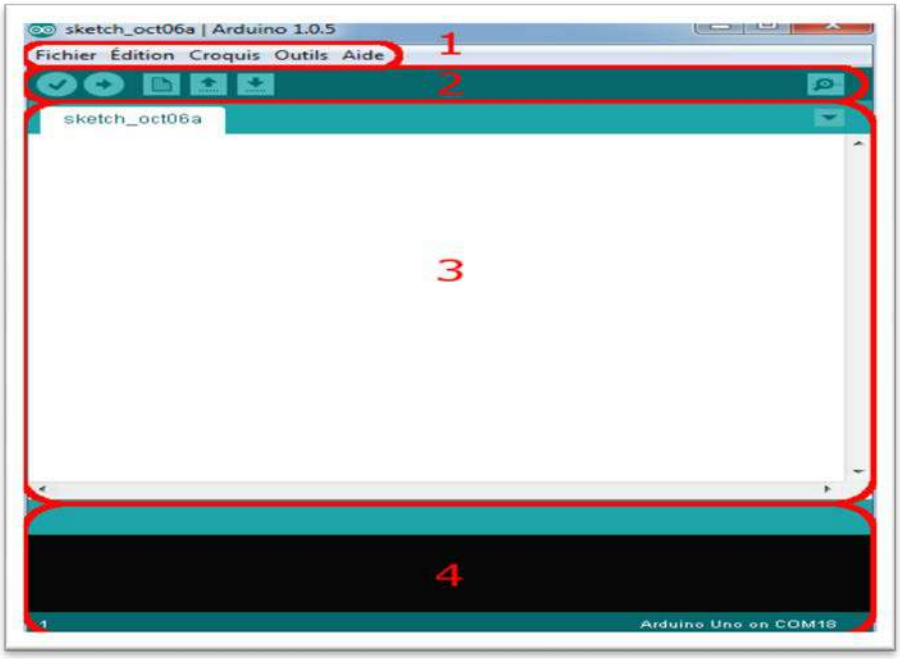


Figure II.13 : Interface de l'IDE Arduino

1) Ce sont les options de configuration du logiciel (barre de menus).
2) Les boutons qui nous servir lorsque on programmer la cartes (barre d'outils rapide).
3) Ce bloc va contenir le programme que nous allons créer (coloration syntaxique).
4) affichant les résultats de la compilation du code source, des opérations sur la carte, etc. (console).



Figure II.14 : Les boutons d'interphase d'IDE.

- **Bouton1 :** Compiler le programme, et actionne un module qui cherche les erreurs dans votre programme.
- **Bouton2 :** Charger le programme dans la carte Arduino.
- **Bouton3 :** Créer un nouveau fichier.
- **Bouton4 :** Ouvrir un fichier.
- **Bouton5 :** Enregistrer le fichier.
- **Bouton6 :** Ouvrir le moniteur série.

c) La structure d'un programme Arduino:

Elle est composée de 3 zones:

- **Zone globale :** Elle permet d'appeler les bibliothèques, créer les variables globales, créer les nouvelles fonctions ou procédures pour votre programme.
- **Zone setup :** Une fonction "void setup ()" permet d'initialiser des éléments, variables. Cette fonction n'est appelée qu'une seule fois au boot par l'Arduino.
- **Zone loop :** Une fonction "voidloop ()" est appelée constamment par l'Arduino et après la fonction setup. Le cœur du programme est là.

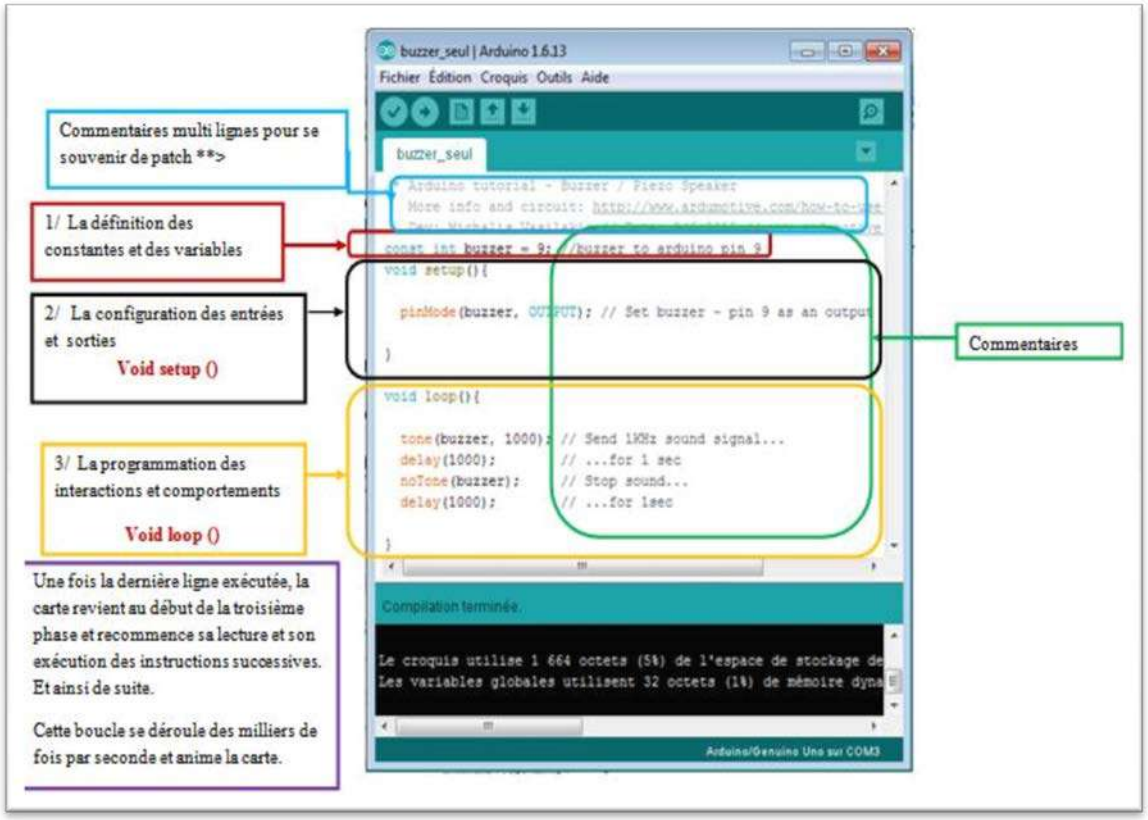


Figure II.15 : La structure d'un programme Arduino.

II.3.2 Application androïde :

Les Smartphones sont des objets techniques très présents dans le quotidien de la personne.

Androïde est un système d'exploitation développé initialement pour les Smartphones. Il utilise un noyau Linux qui est un système d'exploitation libre pour PC. Il intègre tous les utilitaires nécessaires à un Smartphone. Il est optimisé pour les outils Google.

Les applications sont exécutées par un processeur de type ARM à travers un interpréteur Java**.**

II.3. 3APP Invontor : [35][36]

AppInventor est une application de développement en ligne, conçue par Google, qui permet à chacun de créer son application personnalisée pour le système d'exploitation Android.

La plateforme de développement est offerte à tous les utilisateurs possédant un compte Gmail.

Elle rappelle certains langages de programmation simplifiés des années 80 et s'inspire des travaux d'une étudiante « Ricarose Roque »en thèse au MIT(Boston). Le projet a été dirigé par Hal Abelson, professeur au MIT qui a mis au point le portage du langage LOGO sur Apple 2 au début des années 80.

Il a été rendu disponible sur demande à partir du 12 Juillet 2010 et a récemment été rendu publique depuis le 15 Décembre 2010.Basées sur une interface graphique similaire à Scratch. Les informations des applications sont stockées sur des serveurs distants. Elles sont actuellement entretenues par le MIT (Massachusetts Institute of Technologie).

a) Le concept d'App Inventor :

La programmation se réalise en ligne, à l'aide de son navigateur préféré, et sous l'environnement logiciel de son choix (Mac, Linux ou Windows). Seules contraintes : avoir un compte Gmail pour pouvoir y accéder, et un accès à internet évidemment. Les informations sont stockées sur des serveurs distants.

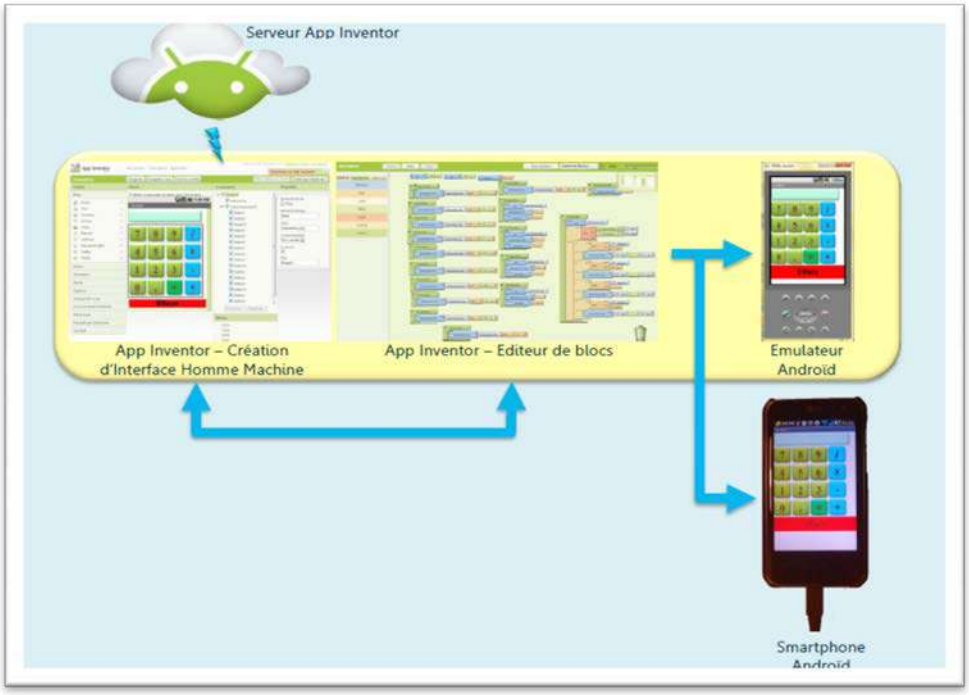


Figure II.16 : Différentes fenêtres d'APP INVENTOR.

L'environnement de App Inventor contient trois fenêtres sont proposées pendant le développement comme on a veut dans la figure :

1. App InventorDesigner : pour la création de l'interface homme machine : elle sera l'allure de l'application

2. App Inventor Block Editor : pour la programmation par elle-même : elle permettra, par l'assemblage de blocs de créer le comportement de l'application

3. L'émulateur : qui permettra de tester l'application. L'émulateur permet de remplacer un terminal réel pour vérifier le bon fonctionnement du programme.

La connexion d'un terminal réel sous Android permettra ensuite d'y télécharger le programme pour un test réel. Ce terminal pourra aussi bien être un téléphone qu'une tablette, le comportement du programme sera identique.

b) La fenêtre de la création de l'interface :

1. L'interface graphique :

Cette interface graphique contient quatre parties



Figure II.17 : Les quatre étapes d'interface graphique.

2. L'interface scratch (Editeur de blocs) :

L'interface scratch permet d'imbriquer des éléments graphiques entre eux pour effectuer la partie programmation de l'application à développer.

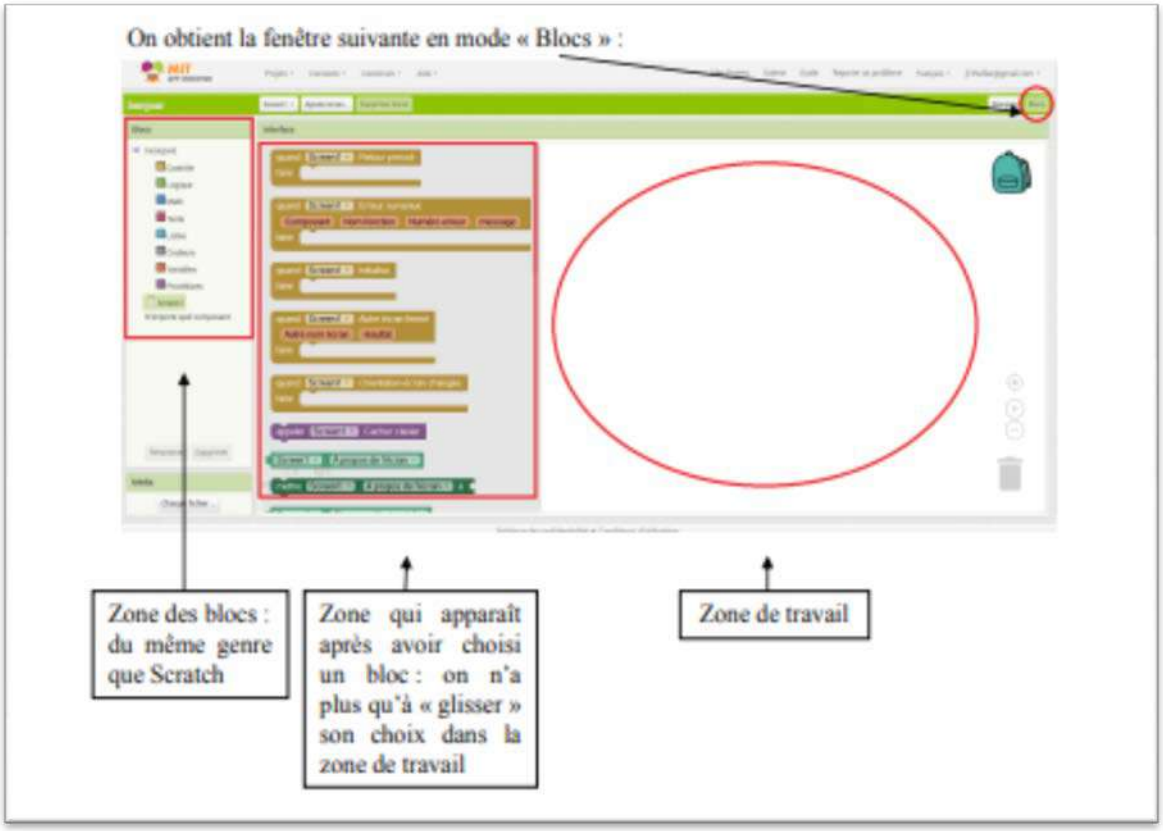


Figure II.18 : L'interface scratch

c) Les étapes de développement d'application androïde avec appinventor:

1. La création de son interface:

Pour cela, le site affiche un écran de téléphone dans lequel nous pouvons placer les éléments que nous voulons utiliser.

Il y a des éléments graphiques comme des boutons, des éléments non graphiques comme des capteurs ou des fonctions permettant d'effectuer des actions : lecteur audio, appareil photo…

1. La conception de l'écran se partage en quatre parties:

➢ La liste des éléments et des medias:

Dans cette liste on trouve les éléments et les médias utilisés sur l'écran



Figure II.19 : La liste des éléments et des medias.

➢ La palette des éléments:

La palette contenant tous les éléments qui peuvent être positionnés sur l'écran du téléphone.



Figure II.20 : La palette des éléments.

➢ L'écran d'affichage des éléments :

Cet écran permet l'affichage des éléments nécessaires dans l'application.



Figure II.21 :L'écran d'affichage des éléments.

➢ **Les propriétés des différents éléments:**

Cette liste représente les différentes propriétés des éléments d'application.

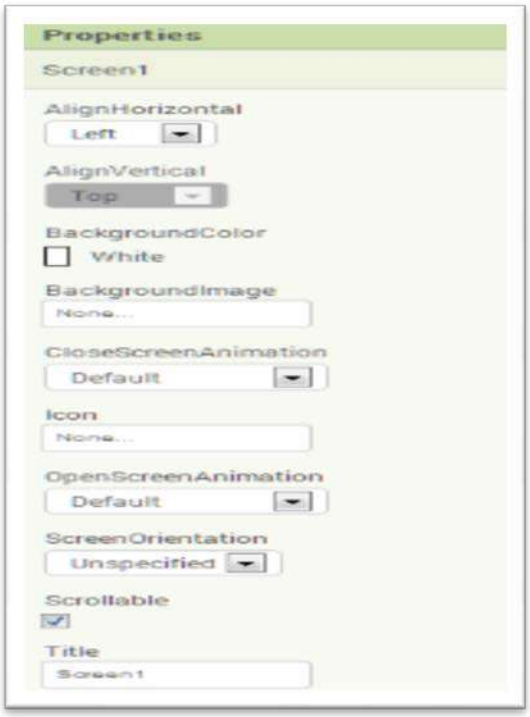


Figure II.22 : Liste des propriétés

2. Le comportement de l'application:

Une fois l'allure de notre application créée, on va décrire le comportement de chaque élément. Pour cela, il faut cliquer sur « Blocks » en haut et à droite de la page :



Figure II.23: L'interface de programmation de l'application.

Nous avons un système d'onglets. Nous y retrouvons les différents composants que nous avons placé sur l'écran ainsi que des blocks utilities « Bultin » Dans l'onglet «Screen1» nous retrouvons les éléments de l'interface.

➢ **Réalisation de l'algorithme à l'aide des blocks:**

On clique sur les éléments dans l'onglet « Screen » et on décrit le comportement de chaque élément.

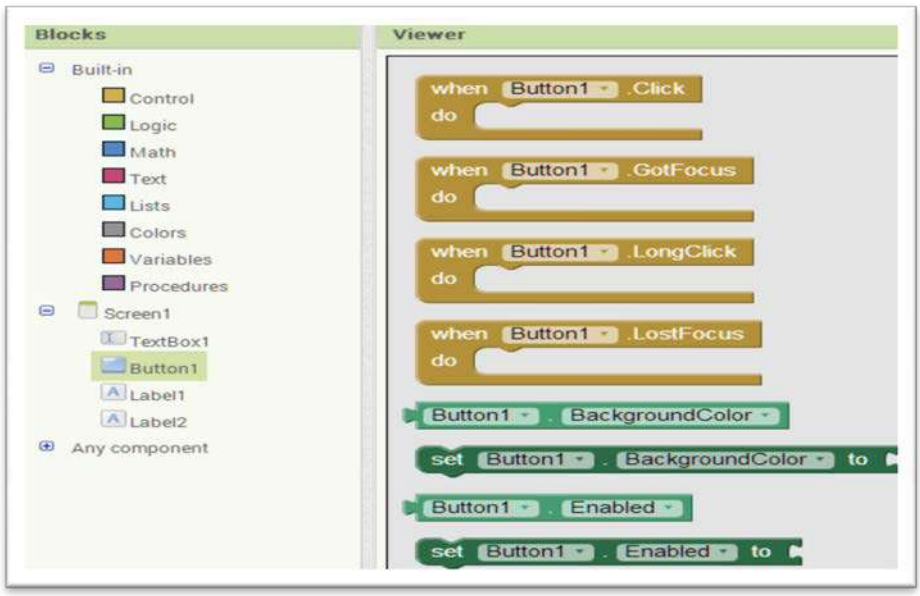


Figure II.24: Les blocks de l'algorithme.

✓ Une fois que l'algorithme a été entièrement réalisé, on sauvegarde le programme.

➢ **Tester l'application sur l'émulateur ou le Smartphone:**

Afin detester l'application on choisit le test sur :

✓ Al Companion : dans ce cas, la connexion se fera directement sur le Smartphone en wifi, L'émulateur : un écran s'affichera sur l'ordinateur,

✓ USB : la connexion se fera sur le Smartphone via un Câble USB.



Figure II.25: Test de fonctionnement de l'application

Il suffit de saisir le code ou de scanner le QR Code pour que l'application soit visible sur le Smartphone et vous pouvez ensuite la tester.

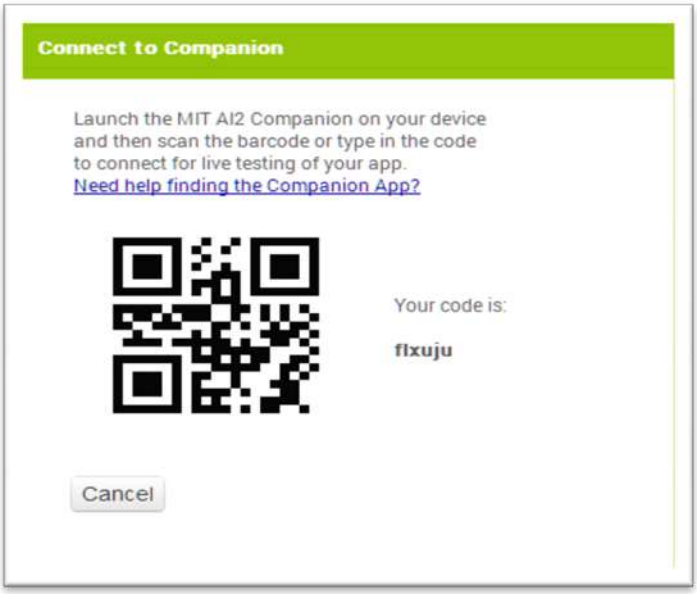


Figure II.26: Le code QR

➢ **Installation:**

Sur le Smartphone, l'application MIT AI2 Companion doit êtretéléchargée et installée sur le PlayStore.

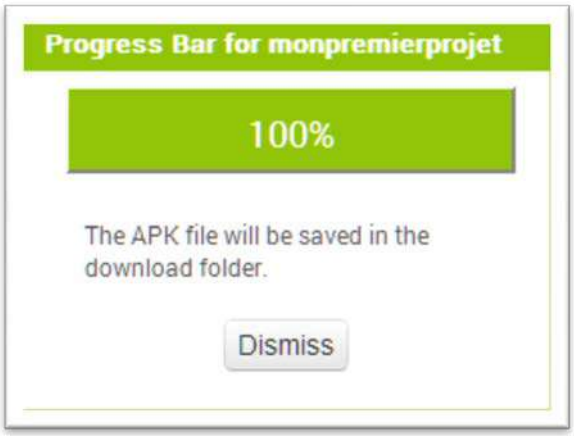


Figure II.27 : Téléchargement de l'application

II.4 Conclusion :

Dans cette partie, nous avons présenté en premier temps circuit de commande. Ensuite, les différents composants du système, tel que le module Bluetooth HC-06, le circuit intégré L293D, le moteur à courant continu, le moteur réducteur. Ainsi que les différents logiciels nécessaires pour la programmation de ce dernier, tel que l'IDE Arduino, Application Android AppInventor.

Chapitre III

Conception et réalisation d'un robot Nettoyeur

III.1 Introduction :

Après avoir décrit la partie théorique de notre système, nous sommes arrivés à la plus importante de notre mémoire qui est la conception et la réalisation du système de nettoyage, notre réalisation se décompose en quatre parties principales :

- Partie électrique.
- Partiemécanique.
- Partie programmation.
- Mise au point du système.

Donc, le fonctionnement de notre système se base essentiellement sur l'ensemble de ces différentes parties.

III.2 Schéma synoptique :

La Figure III.1 présente le schéma synoptique général de notre réalisation. Ce système est basé sur la comparaison des tensions délivrées par le module Bluetooth et qui sont envoyées vers la carte Arduino pour traitement. Elles vont être converties dans cette dernière, en valeurs numériques à traiter afin de gérer la commande des moteurs qui auront pour rôle de dans rotation de robot ainsi que la commande de moteurs qui gère la brosse et la pompe afin d'obtenir un nettoyage très élevée en seul cycle de nettoyage.

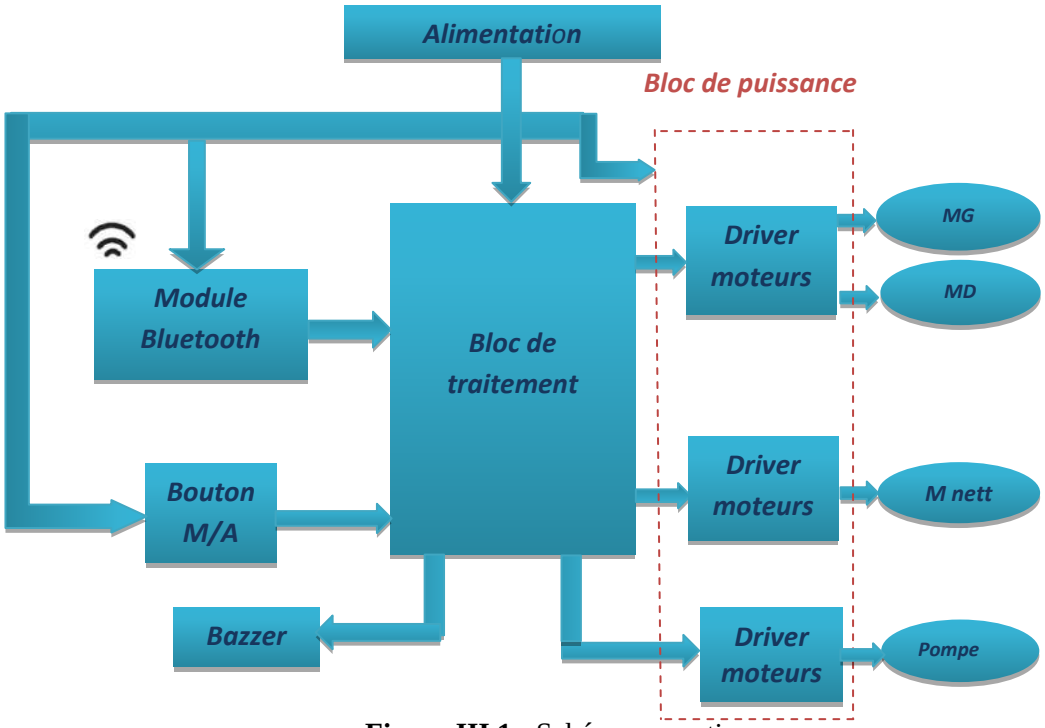


Figure III.1 : Schéma synoptique.

III.3 Schéma électrique :

❖ **PROTEUS :** est une suite logicielle destinée à l'électronique développée la société **Labcenter Electronique**, deux logicielles incluent dans Proteus permanent la CAO dans le domaine électronique, deux logiciels principaux composent cette suite logicielle : ISIS et ARES.

❖ **ISIS :** Le logiciel ISIS de Proteus principalement connu pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus à ce logiciel peuvent être utilisé dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits.

Afin d'assurer le bon fonctionnement de notre montage, nous avons choisi de réaliser son schéma de principe sous**PROTEUS_ISIS.** Tout en commençant par le cœur de notre montage qui est Arduino Mēgapuis ontermine le schéma par les autres composants Figure III.2.

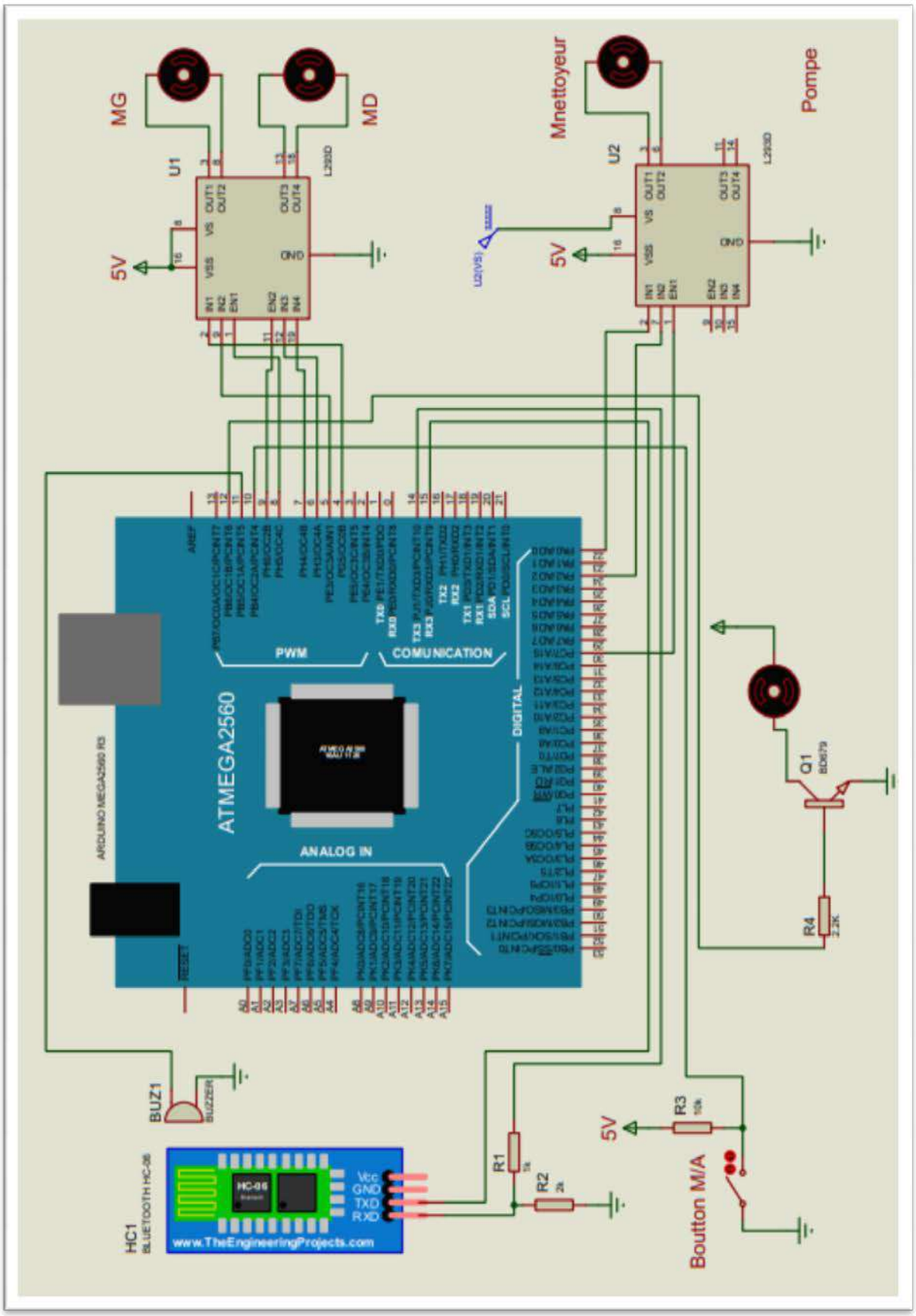


Figure III.2 : Schéma électrique sous **PROTEUS_ISIS.**

III.3.1 Alimentation :

L'alimentation du robot réalisé est faite grâce à une source à deux tensions selon les besoins de la réalisation, chaque carte du système a son propre tension 12V ou 5V.FigureIII.3.



Figure III.3 : L'alimentation utilisée.

III.3.2 Bloc de puissance :

Il existe deux driver qui permettre contrôle un robot, cette carte est réaliser avec le driver L293D double pont en H, ce dernier il va alimenter les moteurs.

III.3.3 Le module Bluetooth :

La tension d'alimentation de ces modules doit être comprise entre 3,3 et 5 V, mais la broche RX ne peut recevoir qu'une tension maximale de 3,3 V**.** Il faudra prévoir un pont diviseur de tension pour ramener la tension 5 V délivrée par la carte Arduino pour ne pas endommager la broche RX du module Bluetooth.

III.3.4 Bloc traitement d'information :

Cet étage est le calculateur de la réalisation, en effet les entrées/sorties de cette carte Arduino Mēga sont connectées aux différents modules évoqués précédemment.

La carte Arduino Mēga est l'esprit de ce projet, elle faite la relation entre Arduino (SOFT) et l'électrique (HARD).

III.4 Partie mécanique:

Pour procéder notre constitution du projet, il faut choisir le matériel conception, puisqu'il nous nous faut un matériel compatible avec la puissance,

l'alimentation, la taille, le fonctionnement et le poids du robot, nous avons choisi une conception mécanique relativement simple mais efficace permettant d'atteindre le but recherche, notre structure mécanique est composée de différentes pièces métalliques et en forex pour construire la forme générale avec les composants nécessaires pour le balancement du robot.

III.4.1 Choix des matériaux et passage à l'usinage :

Le matériel choisi pour la réalisation de ce modèle est le bois grâce à ses caractéristiques physiques en l'occurrence sa solidité et sa légèreté qui assurera un bon équilibre du robot.

III.4.2 La construction mécanique:

La structure mécanique est composée de différentes pièces mentionnées et expliquées parle tableau III.1.

Tableau III.1 : les pièces utilisées dans la structure mécanique de notre robot.

Nom de la pièce	Nombre des pièces
Les roués	2
Moteur à continue	3
Les roués pivotants	2
Pompe à eau	1
Boutton M/A	1
Alimentation	1

III.4.3 Installation de la structure du projet :

La figure III.4 présente la conception de la structure.

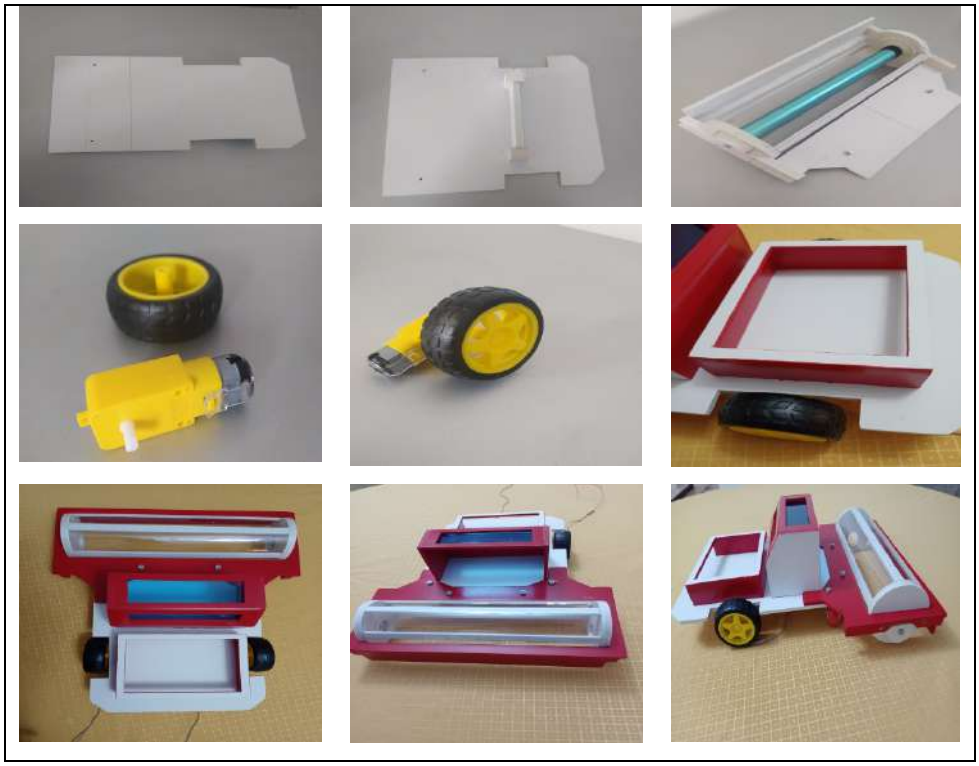


Figure III.4 : Conception de la structure.

III.5 Programmation :

Dans un robot mobile la partie électronique joue un rôle très important pour faire fonctionner le système, la mise en marche de tous le système doit disposer des certains éléments électroniques présentent la partie de la commande qui donne des ordres et fait le traitement d'information reçue par les différents capteurs.

III.5.1 Application App inventor

Comme nous l'avons déjà souligné, le robot sera équipé d'un module Bluetooth pour permettre un pilotage à distance. Pour cela nous avons utilisé le MIT App inventor (en ligne) pour créer une application Android facilitant cette commande à distance.

Avant l'utilisation de cette application un compte Google Play personnel doit être crée. Les étapes du développement de l'application sont les suivantes :

a) Designer : on commence par la conception graphique désiré pour notre application.

➢ Au début doivent être glissés Les objets qu'on souhaite utiliser (les boutons, les tableaux, les zones de textes…etc.) dans la « Screen1».

➢ L'étape suivante consister à modifier les propriétés des différents objets utilisés (boutons, les tableaux…) pour obtenir l'interface voulue.

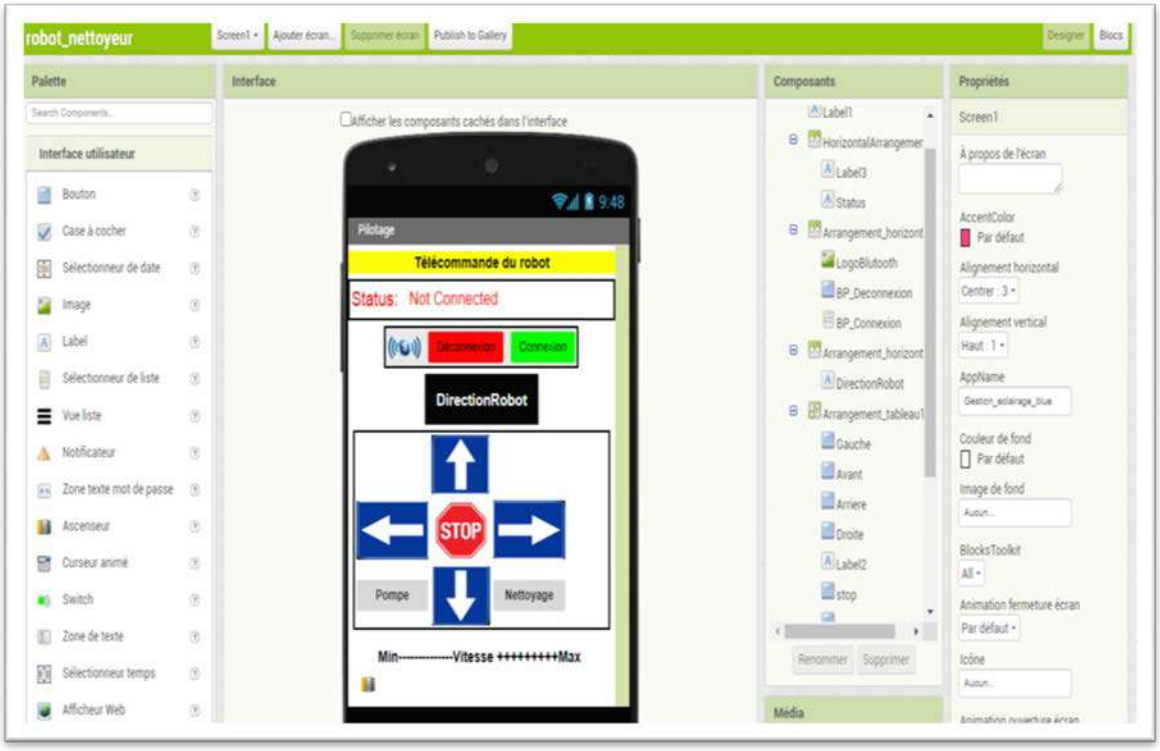


Figure III.5 : L'interface de l'application sous App Inventor.

b) Blocs : Une fois qu'on à terminer l'interface graphique de l'application. On passe à la section « Blocs » où on programme tous les objets qui se trouvent dans le « Screen 1 », chacun selon les tâches à exécuter.

➢ **Programme de Bluetooth :**

Premièrement, nousavons commencé par programmer le Bluetooth.

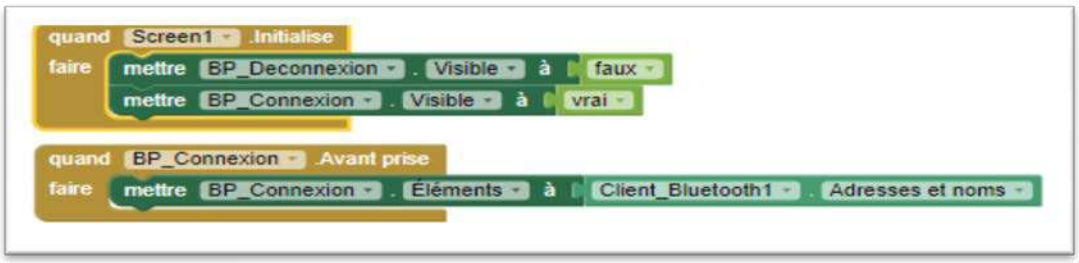


Figure III.6: Programme de configuration de Bluetooth.

- **Code pour activer/désactiver la communication Bluetooth :**

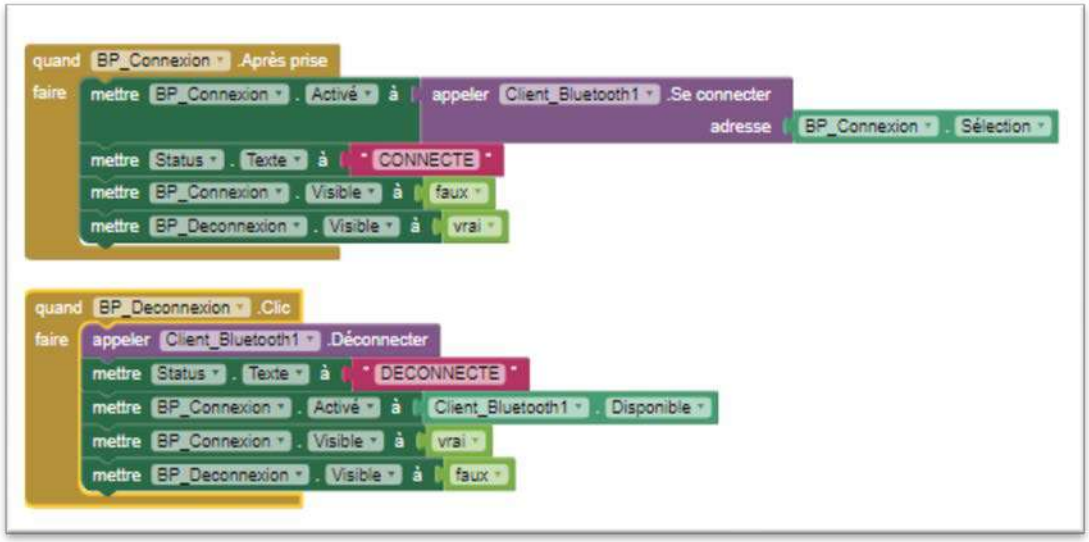


Figure III.7: Code pour activer/désactiver la communication Bluetooth.

- **Code pour les boutons :**

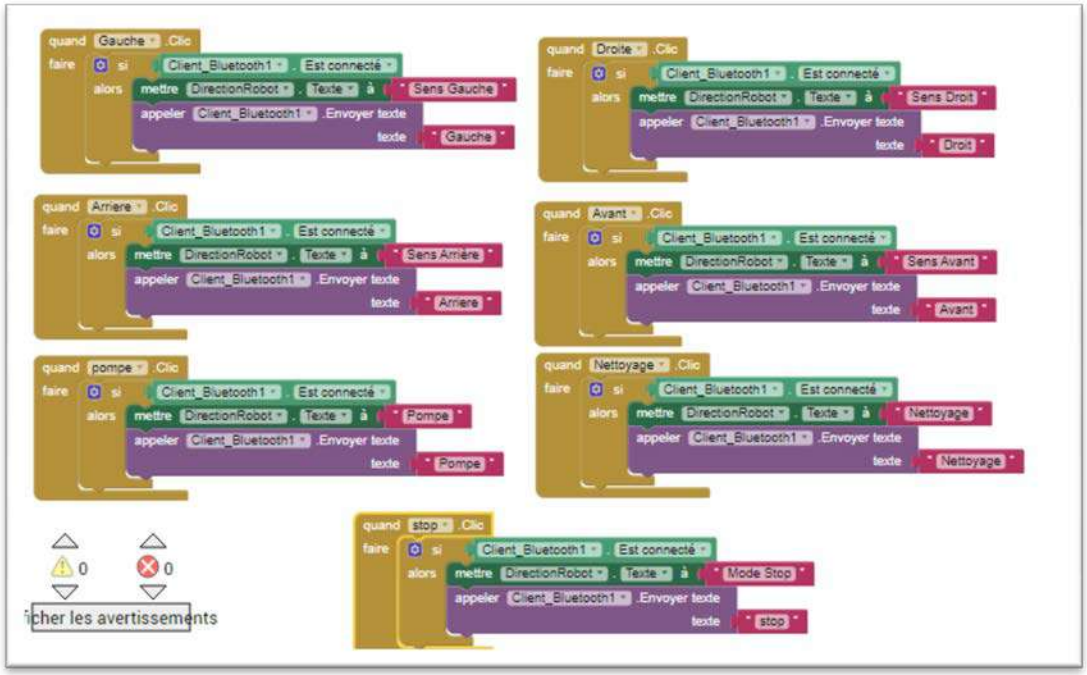


Figure III.8 : Code pour les boutons.

Teste de l'application sur le Smartphone :

- Premièrement nous allons télécharger l'application et l'installer sur Smartphone.
- Nous allons configurer le Bluetooth pour qu'il soit reconnu sur le Smartphone, une fois qu'il est connecté on passe à l'application.

Notre application fonctionne comme le montre la figure III.9.

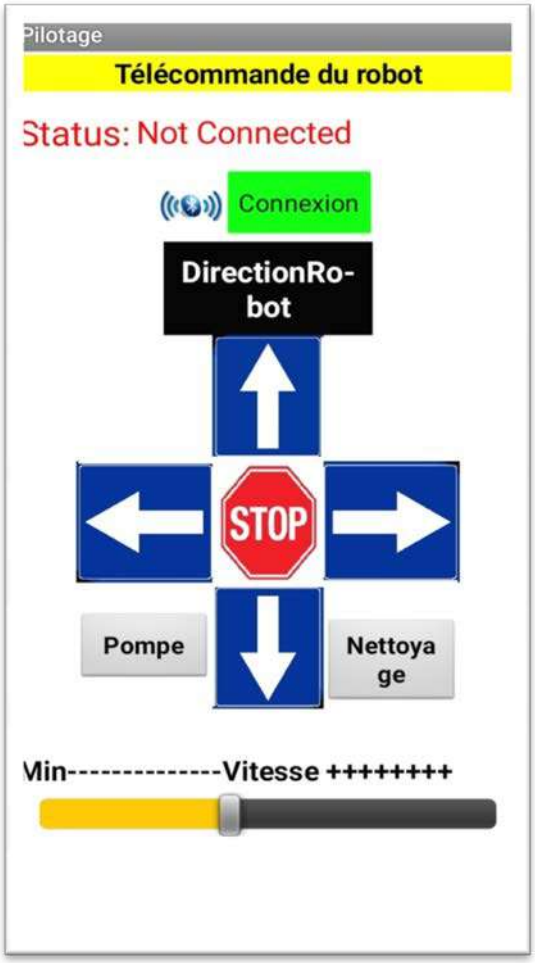
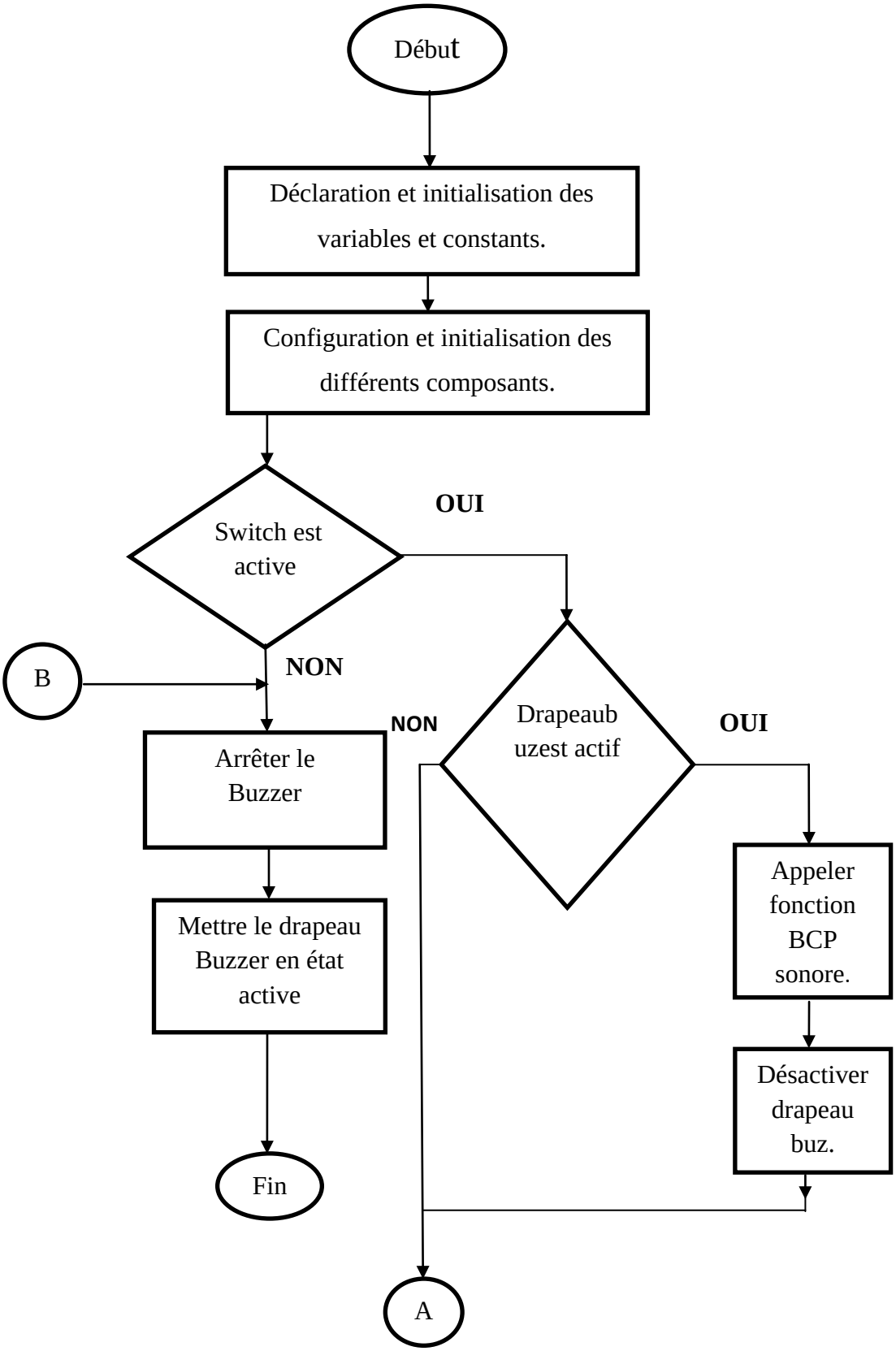


Figure III.9 : L'interface de l'application sous Smartphone.

III.5.2 Programmation Arduino :

a) Partie organigramme :

Avant de passer à la programmation, nous avons réalisé un organigramme qui permet le nettoyé les panneaux solaires la figure III.10. L'organigramme est constitué les étapes suivantes :


Début
Déclaration et initialisation des variables et constants.
Configuration et initialisation des différents composants.
Switch est active
OUI
NON
B
Arrêter le Buzzer
Mettre le drapeau Buzzer en état active
Fin
NON
Drapeaub uzest actif
OUI
Appeler fonction BCP sonore.
Désactiver drapeau buz.
A

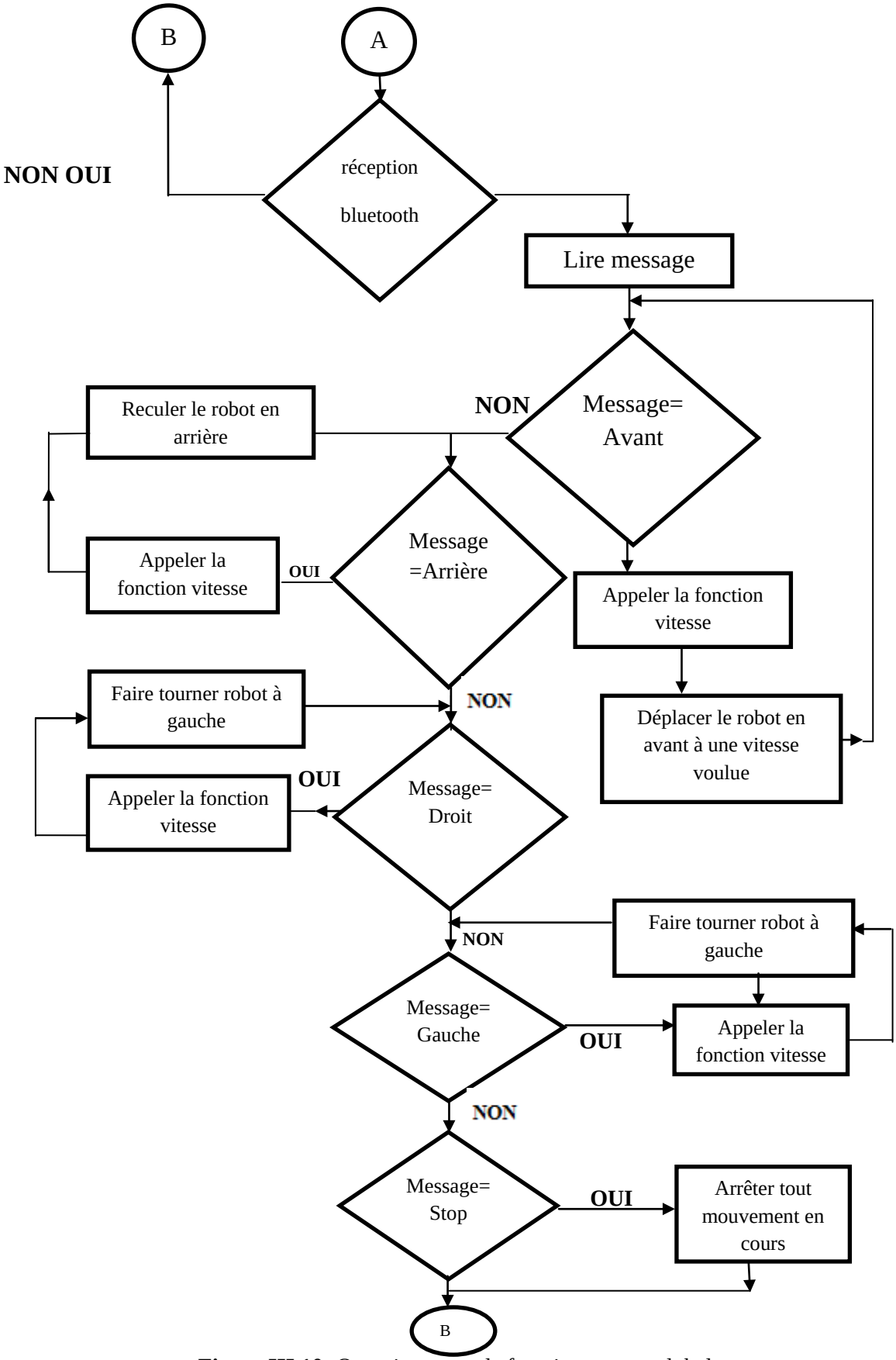


Figure III.10: Organigramme de fonctionnement global.

b) Partie programme :

La carte Arduino Mēga est une carte programmable, elle peut être programmée avec le logiciel Arduino dont une partie du programme est visible sur la Figure III.3

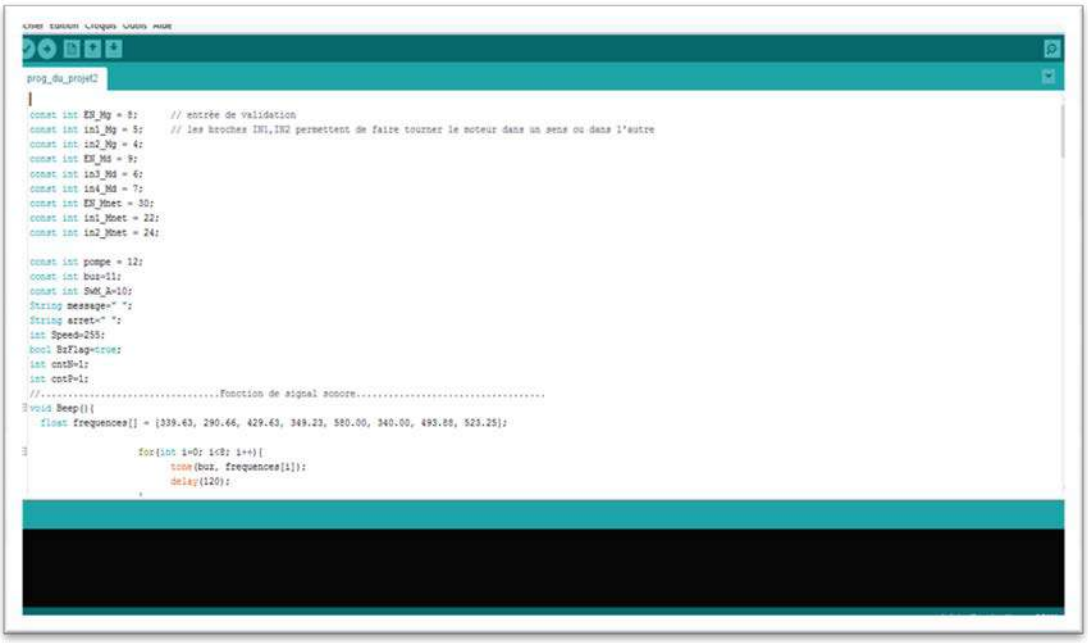


Figure III.11 : Interface du logiciel Arduino IDE.

III.6 Mise au point du système :

Assemblage des différentes cartes électroniques, tout en respectant l'ordre de câblage nécessaire.

En outre après toutes ces étapes ainsi respectées et établis on doit procéder au test des différents blocs à l'aide d'un multimètre à savoir :

- Test de continuités.
- Test après chaque soudure. Là on insiste ne pas réaliser de mauvaise soudure.
- Test de toutes les liaisons existantes entre les différents blocs
- Test si les composants sont alimentés dans le bon sens.

Après tout ça on doit passer aux tests des cartes électroniques, ainsi réalisés, sous tension.

❖ **La réalisation finale :**

La figure III.12 presente la réalisation final après l'assemblage des pièces et placement de les compesants electriques.



Figure III.12 : La réalisation finale.

III.7 Conclusion :

Dans ce dernier chapitre, nous avons expliqué toutes les étapes de réalisation de notre robot nettoyeur telles que la structure mécanique et le montage électrique, ainsi que le programme Android qui commande le robot nettoyeur à distance et le programme de la carte Arduino sous forme d'un organigramme pour bien comprend le fonctionnement du bras.

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce projet porte sur « la réalisation d'un robot nettoyeur de panneaux solaires commandé par Bluetooth›› à l'aide des composants électroniques programmable gérés par un microcontrôleur (Arduino Méga).

Le but de ce travail réside dans la mise en œuvre d'une solution technique qui garantit une propreté des panneaux solaires afin, d'améliorer son rendement. Pour cela, le système que nous avons pu réaliser s'est avéré capable de nettoyer aux environs de 100% ou avec quelques imperfections, malgré les problèmes rencontrés durant la réalisation,

Le but du projet c'est d'obtenir les résultats souhaités en utilisant une carte Arduino Uno mais, un bon nombre de modifications qui s'avérant applicables à la conception mais a conduit à modifier notre carte par une Arduino Méga.

Ce projet de fin d'études était pour nous l'occasion précieuse de faire un travail multidisciplinaire, associant l'instrumentation, l'électronique, l'automatique, la mécanique, la programmation et les énergies renouvelables.

En perspective, on souhaite d'améliorer notre instrument notamment sa structure mécanique on lui ajoutant des systèmes de protection contre les changements brusques du climat et qu'il soit autonome.

Références bibliographiques

[1] : https://cmholtzheim.files.wordpress.com/2013/01/saisons1.gif

[2] : https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcScJxMEyCxynedWIhQg4ymMhBtUJiSmSYrizKBOoj5U_CM-Q6G0yfxiT_q77EA7rGxqjug&usqp=CAU

[3] : BENMOHAMMADI Zahra, ‹‹ Etude, conception et réalisation d'une commande d'un Tracker solaire (suiveur solaire) ›› Mémoire de fin d'étude master, Université Sidi Mohammed ben abdellah-Fès-2013/2014.

[4] : http://revue.sesamath.net/local/cache-vignettes/L431xH291/figure_06-880de.png?1614346743

[5] : https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT5zaKyMdSbLKX9o69H-fYsYayR6nuq3SfJti78d9jL-PEDXan6ggoc1RHVi09-lLORYjE&usqp=CAU

[6] : https://www.ccstib.fr/univers/soleil-diametre-composition/

[7] : CHEIKH Abd Erazek, ‹‹ Modélisation D'un Station De Pompage Photovoltaïque››, mémoire de master, Université Badji Mokhtar-Annaba- 2019.PDF. [26] : C. Tavernier, ‹‹Arduino applications avancées››. Edition Dunod. Octobre 2012.

[8] : https://www.hisour.com/fr/solar-irradiance-39492/

[9] : https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR6iqhA0_caH8uzWmPWrkCqHHf1teOdfQeMOgOTq3VodAcOppIdJmPvnS2JpOJOj3mgdio&usqp=CAU

[10] : BECHOU Makhlouf, ‹‹ Réalisation D'un Tracker Commandé Par Une Carte ARDUINO››, mémoire de master, Université Saad Dahleb-Blida-2016/2017.

[11] : OUSSIDHOUM Samira ‹‹ Etude comparative des performances des cellules solaires à jonctions simple et multiple››, mémoire de master, Université Mouloud Mammeri- Tizi Ouzou-juilet, 2015.

[12] : https://allo.solar/media/wysiwyg/composition_d_une_cellule_photovoltaique.jpg

[13] : ABDERREZEK Mahfoud, ‹‹Modélisation des cellules solaires tandem à couches minces et à haut rendement››, Mémoire de doctorat en sciences, Université Ferhat Abbas-Sétif-, Février 2015.

[14] : https://cdn.futura-sciences.com/buildsv6/images/largeoriginal/f/e/c/fec55d6c03_42645_fonctionnement-cellule-photovoltaique-cea.jpg

[15] : https://image.made-in-china.com/202f0j10AYLGiWHhhFoz/300W-Monocrystalline-Silicon-Solar-Power-Cell-PV-Photovoltaic-Panel.jpg

[16] : https://www.cdiscount.com/pdt2/0/9/0/1/700x700/auc2009975230090/rw/panneau-photovoltaique-photowatt-200w-18v-poly.jpg

[17] : https://www.cdiscount.com/pdt2/9/2/1/1/700x700/auc4016138663921/rw/panneau-solaire-amorphe-20w-12v648x630x25mm.jpg

[18] : file:///C:/Users/DxD/Downloads/1682.pdf

[19] : https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRbv22SiTrGJie_aE6Sq7CkgqTZu9zWTNBP_GQN-2nvodY_sDd4ivrLqfV2qeHbQAyhLA&usqp=CAU

[20] : https://sites.google.com/site/tpelespanneauxsolaires/_/rsrc/1414076570231/experience-n-1/sch%C3%A9matisation%20de%20lexp%C3%A9rience.png?height=300&width=400

[21] : http://www.enerzine.com/1/10240+les-panneaux-solaires-auto-nettoyants-expliques+.html

[22] : http://sd-2.archive-host.com/membres/up/207375302944923638/Etude_laboratoire_du_prof_Haberlin.pdf

[23] :https://fr.bluesunpv.com/js/htmledit/kindeditor/attached/20190701/20190701134603_39798.jpg

[24] :https://wwwi.globalpiyasa.com/lib/Urun/670/37d8389bff11d15968d62f1628fedbd9_1.jpg

[25] : http://www.solarwash.fr/wp-content/uploads/nettoyage-robot-et-eau-pure-Solarwash.jpg

[26] : C. Tavernier, ‹‹Arduino applications avancées››. Edition Dunod. Octobre 2012.

[27] : https://pecquery.wixsite.com/arduino-passion/copie-de-le-detecteur-a-ultrasons-h-1

[28] : EBATA-ATIPO Hugor, BENTOUNSI Mohamed «Réalisation et commande d'un Robot détecteur d'obstacle››, Mémoire de master, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, 2019.

[29] : https://components101.com/ics/l293d-pinout-features-datasheet

[30] : BENSAOULA Mohamed Amine ,‹‹ Conception du Contrôleur PID pour le Moteur à Courant Continu (MCC) à Excitation indépendante Simulation sous Matlab/Simulink ››,mémoire master, Université Badji Mokhtar-Annaba-2019.

[31] : BOULAKROUNE Souad, ‹‹ Commande à vitesse variable d'un moteur à Courant continue alimenté par hacheur Bidirectionnel en courant ››, mémoire de master, Université Badji Mokhtar-Annaba-Juin2018.

[32] :https://www.usocome.com/produits/motoreducteurs/motoreducteurs.html#was_ist_ein_getriebemotor

[33] :https://www.amazon.fr/Pompe-courant-continu-circulation-r%C3%A9glable/dp/B07KPDVX62

[34] : INGUEL Malha « Conception et réalisation d'un système domotique par GSM ››, mémoire de master, Université Moloud Mammeri-Tizi Ouzou-2017

[35] : https://appinventor.mit.edu/

[36] : https://m.20-bal.com/pravo/8812/index.html