

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique UNIVERSITE
MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'AUTOMATIQUE

**Mémoire de Fin d'Etude
De MASTER ACADEMIQUE**
Spécialité : **Automatique**
Filière: **Commande des systèmes**

Présenté par :
BELHOCINE Zakia
KHELIFAOUI Kamelia

Mémoire dirigé par **Amar HAMACHE** et encadré par **Chahira BOUSSALEM** et
RABHI Chafik

Thème

Conception et réalisation de la carte de commande
D'une tournette

Mémoire soutenu publiquement le 13 juillet 2016 devant le jury composé de:

M. BENSIDHOUM Mohand Tahar
Maitre de conférences à l'UMMTO, Président.

M.HAMACHE Amar
Maître de Conférences à l'UMMTO, Rapporteur

Mme YOUCEFI Safia
Maitre assistance à l'UMMTO, Examineur

Mme KHARAZ
Maitre assistance à l'UMMTO, Examineur

Remerciements

Une pensée pieuse à Dieu qui a éclairé notre chemin et mené vers la concrétisation de ce modeste travail.

Nous tenons à remercier notre promoteur Monsieur Amar HAMACHE et les promoteurs au CDTA CHAHIRA BOUSSALAME et RABHI CHAFIK pour leur disponibilité, et leur aide précieuse et de nous avoir fait profiter de leur, expérience et de nous avoir encouragé tout au long de ce travail.

Nous exprimons également notre gratitude à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Nos remerciements s'adressent aussi aux membres de Jury qui nous ont fait l'honneur de juger notre travail.

Notre gratitude va tout particulièrement à monsieur RAVI.

Enfin, nos remerciements les plus sincères à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

- *A Mes très chers parents qui ont veillé sur moi et soutenu durant toutes ces années, ce travail est le fruit de la rigueur, de leur éducation et de leur sacrifice, qu'ils trouvent ici l'expression de mon profond amour et ma reconnaissance ...*
- *A mon frère Akli, mes sœurs Hassiba, Meriame, Chahira et Samia et son mari Qui ont toujours été là pour moi et à qui je souhaite un avenir prospère...*
- *A toute ma famille ET toutes mes amies*
- *A ma binôme Kamelia et sa famille.*
- *A mes regrettable azizou et mamassiw .*

Zakia

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

- ✚ A Mes très chers parents qui ont veillé sur moi et soutenu durant toutes ces années, ce travail est le fruit de la rigueur, de leur éducation et de leur sacrifice, qu'ils trouvent ici l'expression de mon profond amour et ma reconnaissance ...*
- ✚ A mes très chère frères et sœurs **Hakim et Ghileset Naima et Thafsouth** Qui ont toujours été la pour moi et à qui je dois tout l'amour et je souhaite un avenir prospère...*
- ✚ A toute ma famille ET toutes mes amies*
- ✚ A ma binôme **Zakia***
- ✚ Sans oublier les petites princesses de la famille : **MASSICILIA LECIA ET CELINA** et le petit prince **Wellen**.*

KAMELIA

Abréviations

RF : radio fréquence

MEMS : Micro Electro Mechanical Systems.

MST : Microsystems technology.

MOEMS : Micro-Opto-Electro-Mechanical Systèmes.

MEMS RF : MEMS Radio-Fréquence.

BIOMEMS : biomédical micro électro mechanical systèmes.

Rpm : la vitesse de rotation.

IHM : interface humain-machine.

LCD : Liquid Crystal Display

CGRAM : CHARACTER GRAPHIC RAM

IR : Instruction Register

DR : Data Register

RS : Register Select

E: ENABLE

MLI : Modulation par Largeur d'Impulsions

PWM : Pulse With Modulation

UART : Universal Asynchronous Receiver Transmitter

SPI : Interface Série Périphérique

TWI : Two Wire Interface

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Types de moteur à courant continu.....	26
Tableau 2.2 : Tableau caractéristique du transistor BD177.....	29
Tableau 3.1 : Quelques instructions utilisées par arduino	47

Liste des Figures

Figure 1.1 : Structure générale d'un MEMS.

Figure 1.2 : Domaine des MEMS.

Figure 1.3 :Etapas technologiques de fabrications des microsystèmes.

Figure 1.4 : Principales phases de la photolithographie.

Figure 1.5: Lot de wafer.

Figure 1.6 : Phases de développement des résines négatives en positives.

Figure 1.7 : tournette pour l'enduction de gomme bichromaté.

Figure 1.8 :Système d'enduction centrifuge «Spin Coating».

Figure 1.9 :Dépôt de couches minces par le procédé de centrifugation ou spin-coating.

Figure 1.10 : vitesse de rotation en fonction du temps.

Figure 1.11 :L'épaisseur du film en fonction de la vitesse de rotation.

Figure 1.12 :L'épaisseur de la couche en fonction du temps de rotation.

Figure 1.13 : Le spinner WS-650-23B.

Figure 1.14 : Spin coater Mb-SC-200.

Figure 1.15 : Spin-coaterBraive Instrument.

Figure 2.1 :le schéma synoptique

Figure2.2 : afficheur LCD 4x20.

Figure 2.3 : la description des broches de LCD

Figure 2.4 : Architecture interne du clavier à 16 boutons poussoirs.

Figure 2.5 : Branchement d'un afficheur LCD et le clavier avec une arduino

Figure 2.6 : MABUCHI Motor

Figure 2.7 : Inducteur

Figure 2.8 : Induit

Figure 2.9: Composition de l'induit.

Figure 2.10: L'ensemble balais, porte-balais et collecteur

Figure 2.11 : moteur et génératrice

Figure 2.12 : Circuit de puissance du moteur

Figure 2.13: graphe d'une MLI

Figure 2.14 : MLI avec différents rapports cycliques

Figure 2.15 : Optocoupleur à fourche

Figure 2.16 : Symbole d'un optocoupleur et Arduino

Figure 2.17 : Placement de la roue entre l'émetteur et le récepteur de l'optocoupleur

Figure 2.18 : La roue codeuse

Figure 3.1 : La carte arduino Méga 2560

Figure 3.2 : Microcontrôleur ATMEGA2560

Figure 3.3 : les différents composants de la carte Arduino

Figure 3.3 : le logiciel Arduino.

Figure 4.1 :le logiciel proteus

Figure 4.2 : Organigramme de fonctionnement

Figure 4.3 : Schéma de la carte de commande de la tournette

Figure 4.4 : la tournette

Présentation de l'établissement CDTA

1. Le Centre de Développement des Technologies Avancées (CDTA) est un établissement public à caractère scientifique et technologique (EPST). Il a pour mission de mener des actions de recherche scientifique, d'innovation technologique, de valorisation et de formation dans les domaines des sciences et des technologies de l'information, des technologies industrielles et de la robotique, des dépôts et des traitements des matériaux, des applications et des technologies des lasers.

A travers ses missions, le CDTA contribue activement au développement du savoir, à sa transformation en savoir faire et en produits nécessaires au développement économique et sociétal.

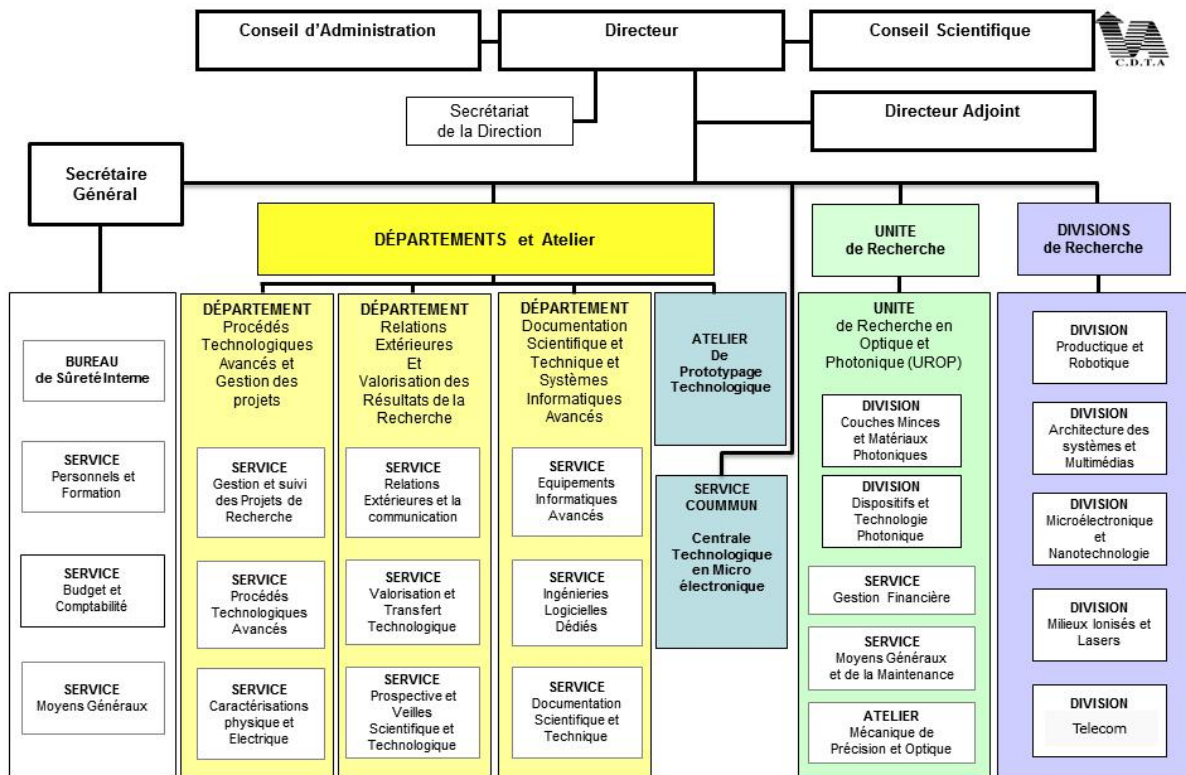
Ainsi, le CDTA constitue un véritable réceptacle en matière d'appropriation et de diffusion des technologies avancées.

Axes de recherche

Les actions menées par le CDTA s'articulent autour des axes suivants :

- **La microélectronique et la nanotechnologie**, notamment la fabrication de dispositifs électroniques analogiques et RF ainsi que de circuits intégrés VLSI dans la technologie CMOS 1 micron et de MEMS, le test et la caractérisation, le développement d'outils de CAO, la conception et la réalisation de FPGA et de circuits ASIC
- **L'architecture des systèmes et le multimédia**, en particulier, les systèmes d'information et les entrepôts de données ; la e-santé, le e-gouvernement et la e-maintenance ; les architectures, l'arithmétique pour les algorithmes sériels et parallèles, la cryptographie et la compression des images médicales , l'instrumentation et les équipements spécialisés en santé, industrie, énergie , environnement ; les systèmes multimédia alliant la parole, le script, l'image et la voix , les réseaux de transmission et de restitution de données, de la voix et de l'image , et la sécurité informatique.
- **La productique et la robotique**, en particulier, les systèmes automatisés de production, les ateliers flexibles, la vision artificielle, la technologie et la commande des robots, la robotique mobile et les robots manipulateurs.

- **Le dépôt de couches minces** par plasma et par ablation laser, notamment la fabrication de réacteurs; la caractérisation des dépôts par la diffraction à rayons X.
- **Les lasers**, en particulier le traitement des matériaux par laser, la fabrication des lasers solides, à gaz et colorants, et leurs applications industrielles, médicales, de mesure et d'instrumentation.
- **Les milieux ionisés**, notamment la spectroscopie des plasmas froids et poudreux , les phénomènes d'absorption d'une onde laser par plasma et d'ablation laser, les phénomènes de transport, l'interaction laser-matière, l'instabilité et les plasmas de décharge.



Organisation du CDTA

Depuis son existence sur terre l'homme cherche à améliorer ses conditions de vie en lui apportant le confort et la stabilité, le moyen qui a contribué le plus à atteindre ce but est l'invention et le développement des technologies dans tous les domaines notamment le domaine militaire, la recherche scientifique, l'exploration spatiale, la production industrielle...etc.

Les microsystèmes sont des objets miniaturisés de petites dimensions, issu de la technologie de la microélectronique. Leur taille varie de quelque micromètre à quelque millimètre. Il s'agit de systèmes de forte intégration et de grande complexité technologique, il nécessite des moyens puissants de fabrication et des compétences pointues lors des enchainements des étapes de réalisation qui font appel à différents procédés élémentaires (dépôt, dopage, gravure ...etc).

La photolithographie est une technique utilisée pour la fabrication des composants microélectroniques (les diodes, les transistors, les puces ...etc). Cette technique est l'ensemble des opérations permettant de transférer une image vers un substrat (silicium, verre). Le principe de fabrication repose sur une série d'étapes technologiques. La réalisation de structures sur un substrat passe par le dépôt de couches par moyen d'une tournette qui est une machine qui utilise la force centrifuge.

La tournette sert à déposer des couches ultrafines d'épaisseur contrôlée d'un matériau organique sur un substrat par une technique d'enduction centrifuge, encore appelée « spin coating ». Le principe de cette technique consiste simplement à poser le substrat sur un support qui tourne rapidement grâce à un moteur à courant continu ou un moteur *brushless* (moteur à courant continu sans balais) Le substrat est maintenu en place par aspiration et la rotation a pour effet d'y étaler uniformément la goutte de matériau déposée.

L'objectif du présent travail est la réalisation de la partie commande de la tournette de sorte à répondre au cahier des charges exigé par l'équipe MEMS & SENSOR de cdta.

Pour commander notre système, nous pouvons utiliser plusieurs technologies, soit les microcontrôleurs, Arduino, les API ou la commande par ordinateur. Nous avons opté pour la commande par la carte arduino Méga 2560 pour sa disponibilité, et sa simplicité de programmation par arduino.

Afin de réaliser notre projet, nous avons partagé cette étude en quatre chapitres. Dans le premier chapitre, nous présenterons les généralités sur les MEMS et le principe de fonctionnement de la tournette.

Dans le deuxième chapitre on présentera une description détaillée de différents composants de la carte de commande de la tournette.

Le troisième chapitre sera consacré à la présentation de la carte arduino méga2560 et le langage de programmation arduino.

Le dernier chapitre sera consacré aux testes et à la réalisation.

Chapitre:1

Généralités sur les MEMS et fonctionnement de la tournette

I.1 Introduction

Les MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) sont des dispositifs miniaturisés couvrant plusieurs disciplines (mécanique, chimie, biologie, physique, informatique, vibration...etc.). Le concept MEMS implique toute cohabitation des composants mécaniques et électroniques sur une même puce qui permet d'obtenir des systèmes complexes à l'échelle microscopique.

En Europe, ils sont connus sous MST pour Microsystems technology et au Japon sous Micromachine. Ils sont destinés à manipuler ou détecter des paramètres dans leur environnement. Les avancées autour de la micro-technologie de réalisation des MEMS ont engendré une explosion des applications et une segmentation du domaine. Il y a quatre familles associées à leurs cadres applicatifs [1] :

- **Capteurs MEMS** : ils sont liés directement à une déformation mécanique avec une variation électrique à l'exemple des capteurs de pression pour chauffe – eaux et des capteurs d'accélération dans les airbags...etc.
- **MEMS optiques (MOEMS)** : acronyme de Micro-Opto-Electro-Mechanical Systèmes, ils permettent la manipulation d'une information lumineuse ou électromagnétique et sont désormais omniprésents dans les vidéoprojecteurs.
- **MEMS RF** : acronyme de radio-fréquence, leur application se trouve dans l'ensemble de la chaîne d'émission-réception d'un signal informatif tel que le système de communication sans fil par micro-ondes.
- **BIOMEMS** : acronyme de biomedical (ou biological) microelectromechanical systems, ils sont associés au laboratoire sur puce permettant de développer des applications à différentes échelles et l'application bio – puce [2].

La photolithographie est une technique largement employée pour la fabrication des MEMS par moyen d'une tournette. Nous présenterons dans la première partie de ce chapitre des généralités sur les MEMS.

Dans la deuxième partie nous présenterons une description détaillée de la tournette.

I.2 Les MEMS

Historique

En 1959, lors de la conférence « There is plenty of rooms at the bottom », R. Feynman a présenté le concept de manipulation de la matière à très petite échelle. Cette conférence a été l'occasion de lancer un défi à la communauté scientifique en soulignant qu'aucune loi physique ne s'opposait à une miniaturisation de la technologie à l'échelle du micromètre ou du nanomètre. Feynman a sans aucun doute participé à donner l'impulsion à la recherche en ce domaine qui nécessite des investissements importants.

Dans les années soixante, il y a eu l'apparition des premiers microsystèmes tels que le premier capteur de pression.

Dans les années 70, les microsystèmes sont alors développés sur la base de technologies dévolues à la réalisation des transistors d'autant que les propriétés mécaniques du silicium s'avèrent très bonnes.

En 1970, il y a eu la naissance du premier capteur de pression capacitif (développé en 1977 à Stanford) et l'accéléromètre électrostatique sur silicium ou encore la réalisation d'un chromatographe miniaturisé intégrant des parties fluide, électronique et mécanique de dimensions micrométriques.

Dans les années 80, les microsystèmes vont bénéficier de l'amélioration des techniques de micro usinage du silicium tant en volume qu'en surface à l'exemple du procédé LIGA en 1985. Ceci va permettre de réaliser des structures mécaniques de plus en plus complexes et reproductibles conduisant aux premiers micromoteurs rotatifs en 1989, les accéléromètres et les capteurs de pression avec électronique intégrée par Honeywell en 1988.

Les années 90 sont marquées par l'apparition des microsystèmes sur des marchés industriels de gros volume comme l'automobile ou l'informatique. Les dispositifs intégrés dans l'airbag sont à ce titre, illustratif car ils associent un capteur (accéléromètre) une électronique de traitement (puce électronique) et un actionneur (percuteur de la cartouche de gaz). En 1993 sont apparus les réseaux de micro miroirs et en 1995 sont apparus les premiers commutateurs capacitifs. Le début des années 2000 a connu une évolution remarquable des microsystèmes RF optiques ainsi que l'apparition et l'utilisation des microsystèmes médicaux (puce à ADN, laboratoires sur puce)[3].

I.3 Structure générale d'un MEMS

La structure générale d'un MEMS est composée de quatre composants de base dont:

- Microélectroniques (Micro Electronics).
- Micro-capteurs (Micro Sensors).
- Micro-actionneurs (Micro Actuators).
- Microstructures (Micro Structures).

Les éléments microélectroniques d'un MEMS sont très similaires aux chips électroniques, ils agissent comme le cerveau du système. Il reçoit des données, les traite, et prend des décisions [4]. Les données reçues proviennent des éléments micro-capteurs du MEMS.

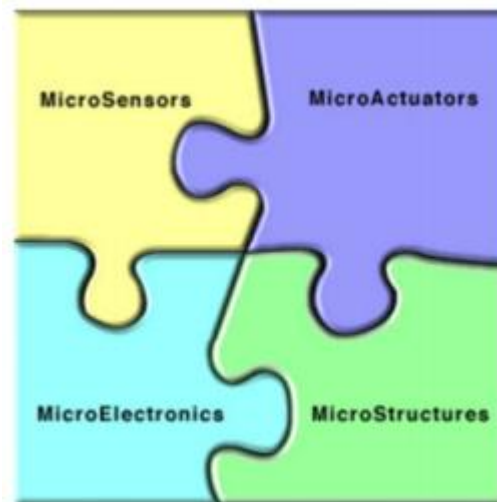


Figure 1.1 : Structure générale d'un MEMS.

I.4 Domaine d'utilisation

Les microsystèmes sont utilisés dans des domaines aussi variés que l'automobile, l'aéronautique, la médecine, la biologie, les télécommunications, ainsi que dans certaines applications « de tous les jours » telles que les vidéoprojecteurs, téléviseurs haute-définition ou coussins gonflables de sécurité pour automobiles [5]. Leur succès ainsi que leur diversité d'utilisation tient principalement à la réduction de la taille, du poids et de la consommation d'énergie et surtout l'amélioration des performances (vitesse de détection, sensibilité, etc.).

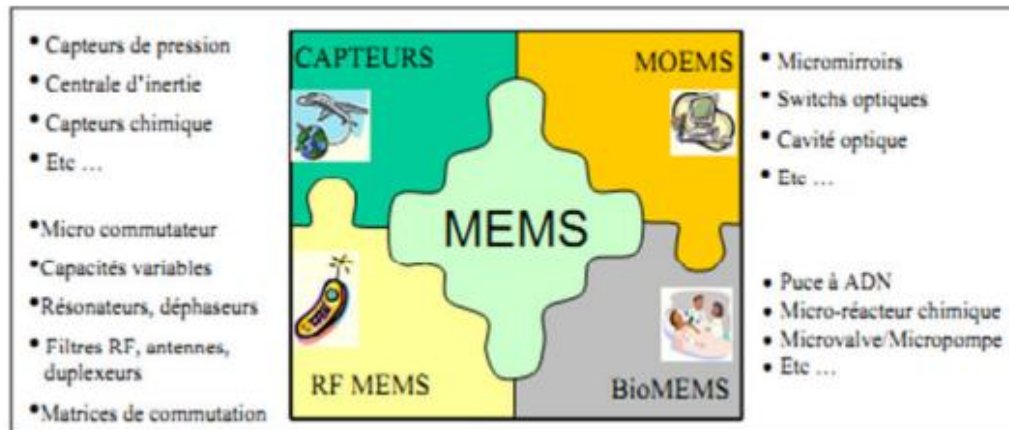


Figure 1.2 : Domaine des MEMS

I.5 Etapes de production des MEMS

Le principe de fabrication repose sur une série d'étapes technologiques (Figure 1.3). La réalisation de structures sur ou dans un substrat passe par le dépôt de couches minces qui vont servir soit de masque de gravure ou de structure [6] de base de type poutres, ponts, membranes ...etc.

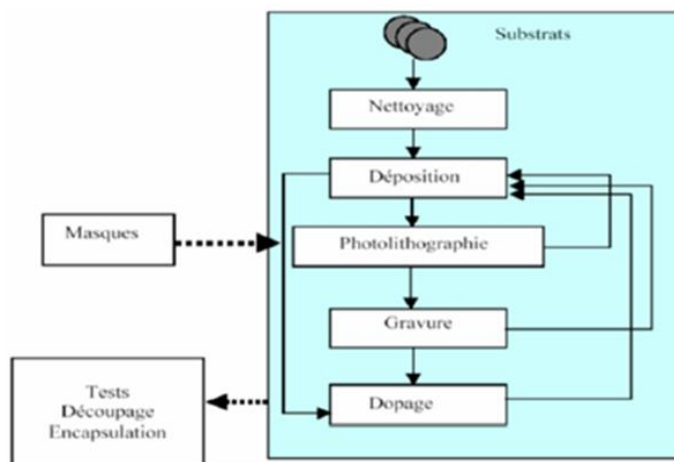


Figure 1.3 : Etapes technologiques de fabrications des microsystèmes

I.6 La photolithographie

La photolithographie demeure une étape cruciale dans la fabrication des MEMS, elle permet d'obtenir sur une couche de substrat relativement plane, des zones spécifiques dictées par le concepteur et seront recouvertes de résine photosensible protectrices durant certains étapes de fabrication. En particulier, pour protéger les zones recouvrant sur le substrat d'une gravure, d'une implantation ionique ou encore d'un dépôt de couche de matériaux. Les

principales phases de la photolithographie à savoir le revêtement, l'exposition et le développement sont représentées à la figure 1.4.

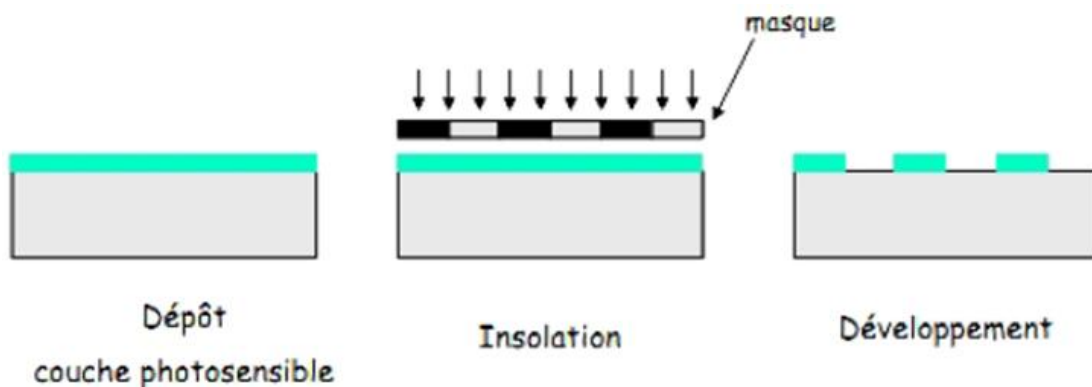


Figure 1.4: Les phases Principales de la photolithographie

I.6.1 Revêtement : il consiste à étaler sur un substrat de base une couche de résine photosensible de façon uniforme et contrôlée. Qui nécessite le nettoyage et le séchage des wafers pour l'élimination des sources de contamination avant de passer au dépôt de résine (en films minces) sur le substrat de base fixé sur une tournette. Généralement on commence par le dépôt d'un promoteur d'adhérence sur la surface d'un wafer afin d'améliorer l'adhérence entre la couche de résine et le substrat [7].

L'usinabilité de wafer en silicium est à faible coût et bien maîtrisée de plus, il est l'un des rares matériaux qui puissent être fabriqué sous forme de monocristal de façon économique

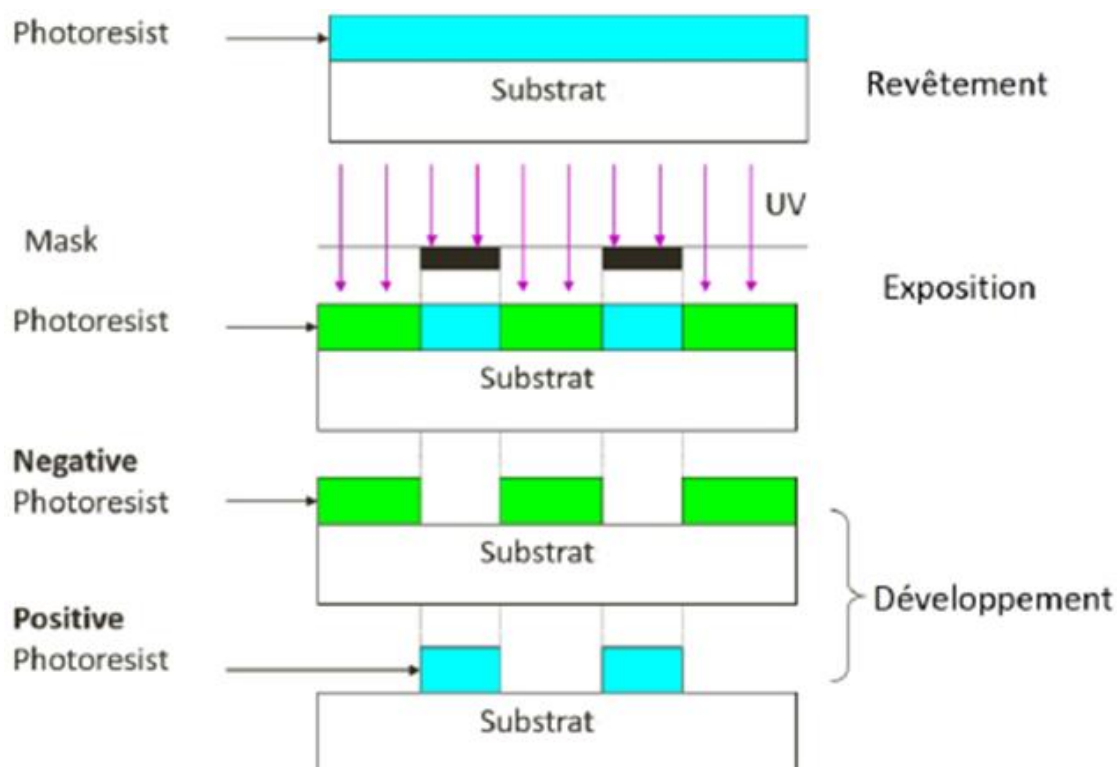


Figure 1.5 : Lot de wafer

Le choix du substrat repose sur divers critères et contraintes comme : le matériau utilisé pour des produits ciblés (tels que les commutateurs qui sont généralement, fabriqués sur un substrat en silicium, quartz, ou verre). Le coût, la technologie utilisée et les contraintes électrique, mécanique et thermique.

Concernant le dépôt de résine, il existe deux types de résine, leur utilisation dépend des résultats désirés :

- **Résine positive :** l'étape de développement conduit à l'élimination de la résine insolée au travers du masque, découvrant ainsi les ouvertures vers le substrat qui dessinent la structure en négative.
- **Résine négative :** l'étape de développement conduit à l'élimination de la résine non insolée (non exposée aux ultraviolets) laissant ainsi la résine polymérisée sur le substrat qui dessine la structure en positif ; elle est plus difficile à utiliser et sert souvent de structure mécanique (résine épaisse nommée SU-8).

**Figure 1.6:** Phases de développement des résines négatives en positives

I.6.2 Exposition : consiste à exposer la résine photosensible à un rayonnement de lumière ultraviolette, de façon sélective, en masquant la lumière aux endroits qui n'ont pas été

exposés. Après exposition, une image latente correspond au masque ou à son complément est obtenue dans la couche photo sensible.

I.6.3 Développement : consiste à révéler l'image latente (inconnu) par la dissolution sélective de la couche photosensible, selon que l'on a utilisé de la résine positive ou négative. L'image obtenue dans la résine sera l'image même du masque ou encore son comportement.

I.7 Fonctionnement de la tournette :

I.7.1 Historique :

La principale technique mise en œuvre pour la réalisation des microsystemes est la lithographie, dont l'origine remonte à une ancienne méthode d'impression en noir et blanc à partir d'une pierre calcaire sur laquelle est reporté un motif (à l'envers) à l'aide d'une encre, ce motif est ensuite transféré par contact sur le support à imprimer. Comme Alphonse Poitevin et son procédé de photolithographie sur pierre, en 1855 on retrouve un grand nombre de dérivés de cette méthode dans les procédés d'imprimerie, et plus tard un procédé de ce type a été appliqué à la fabrication de semi-conducteur qui est la photolithographie, Qui se basé sur une méthode classique et connu depuis les origines de la photolithographie, le procédé dit "à la gomme bichromatée" est connu depuis le milieu de 19^{ème} siècle. Il a été souvent appliqué au début de siècle suivant, c'est une table tournante mécanique qui était utilisé dans les années 1950 pour le séchage des couches fines en gélatine pour la fabrication des règles à la société GRAPHOPLEX [8]. Aussi y a-t-il environ 70 années. Les tables tournantes ont été utilisées pour faire le revêtement de peinture artistique (spin painting) ou d'autres applications mais n'étaient pas destinées à l'étalement des résines.

En 1958, Alfred et G.Emslie et ses associées se sont inspirés de cette pratique et ont développé la théorie de spin coating et le modèle de spin coater pour les revêtements de résine photosensible "on prend les coordonnées polaires cylindriques (r, Θ, z) tournant avec le disque en rotation à une vitesse angulaire " ω ". la dépendance " z " de la vitesse radiale " v " du liquide en un point quelconque (r, Θ, z) peut être trouvée en égalent les forces visqueuses et centrifuge par unité de volume .

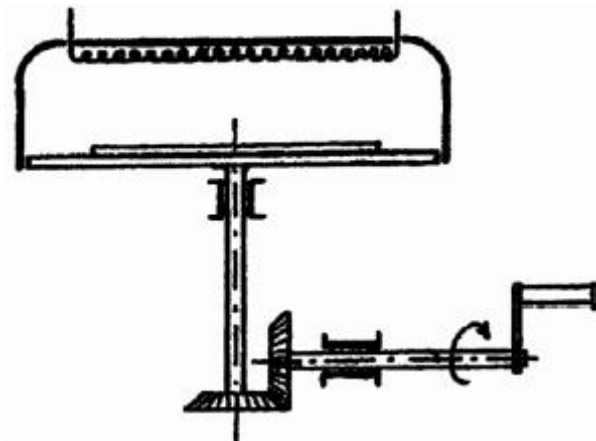


Figure 1.7 : Tournette pour l'enduction de gomme bichromaté

I.7.2 Fonctionnement du Spin coater :

L'enduction centrifuge, plus connue sous le nom anglophone de «spin coating» est une technique d'application de recouvrement en déposition de couche mince sur des surfaces planes mises en rotation. Une schématisation du procédé se retrouve en Figure1.8.

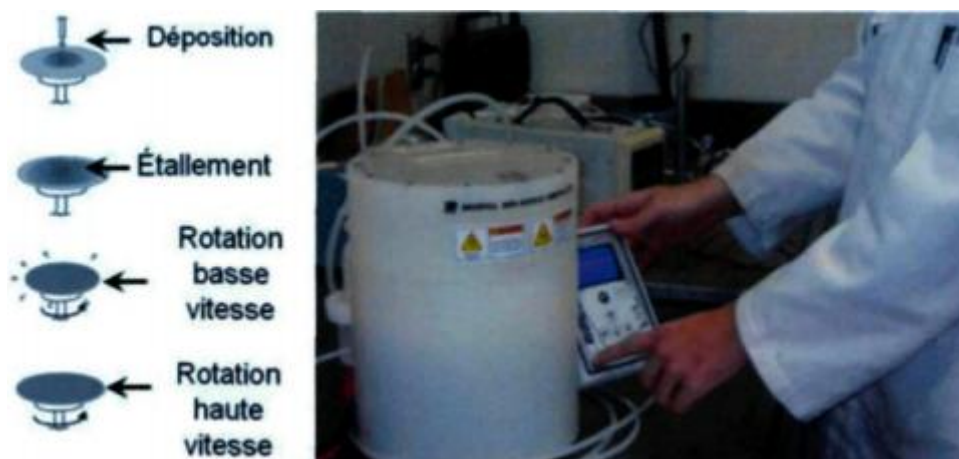


Figure 1.8 : Système d'enduction centrifuge «Spin Coating»

À gauche le principe est qu'une certaine quantité de revêtement est déposé puis s'étale sur la surface. Une première rotation à basse vitesse permet l'évacuation des surplus pour obtenir une couche mince puis une rotation à haute vitesse permet l'évaporation du solvant. À droite l'appareil lors de son fonctionnement.

Le procédé s'effectue en quatre étapes : la déposition du revêtement, étalement à la surface, généralement 0,5 à 1,5 ml, une rotation à basse vitesse pour s'assurer d'un film

uniforme, 500 à 1000 rpm, puis une rotation à haute vitesse, 2000 rpm au plus, pour l'évaporation du solvant. Il existe plusieurs facteurs pouvant faire varier l'épaisseur du fluide :

- Facteurs liés à la machine : vitesse angulaire (plus elle est grande plus l'épaisseur sera fine), accélération (plus elle est grande plus l'épaisseur sera fine), temps de l'opération (plus l'opération est longue, plus la couche est fine)
- facteurs liés au composé quantité déposée (en général 0,5ml), sa concentration dans le solvant, sa masse molaire, sa viscosité,... etc.

Le temps normal d'opération proposé par le fabricant est de 15 à 50 secondes, afin de contrôler l'épaisseur et d'avoir une couche uniforme.

Dans le cas des expériences menées, le procédé se faisait en deux étapes de vitesses. Un premier échelon durait 15 secondes à 500 rpm, le deuxième durait 30 secondes à 2000 rpm.

En contrôlant les paramètres de rotation, il est possible de calculer l'épaisseur du film déposé : Meyerhofer a publié un modèle tenant en compte les paramètres entrant en jeu lors du dépôt : l'épaisseur (h) est alors donnée par la relation suivante [9]:

$$h = c \cdot \sqrt[3]{\frac{3\eta e}{2\rho\omega^2}} \quad (1.1)$$

où :

c est une constante, e est la vitesse d'évaporation, η est la viscosité de la solution, ω est la vitesse de rotation et ρ est la densité de la solution.

Il est alors facile pour une solution dont la viscosité est connue, de maîtriser l'épaisseur des films en fixant la vitesse de rotation.

La figure 1.9 représente le dépôt de couches minces par le procédé de centrifugation.

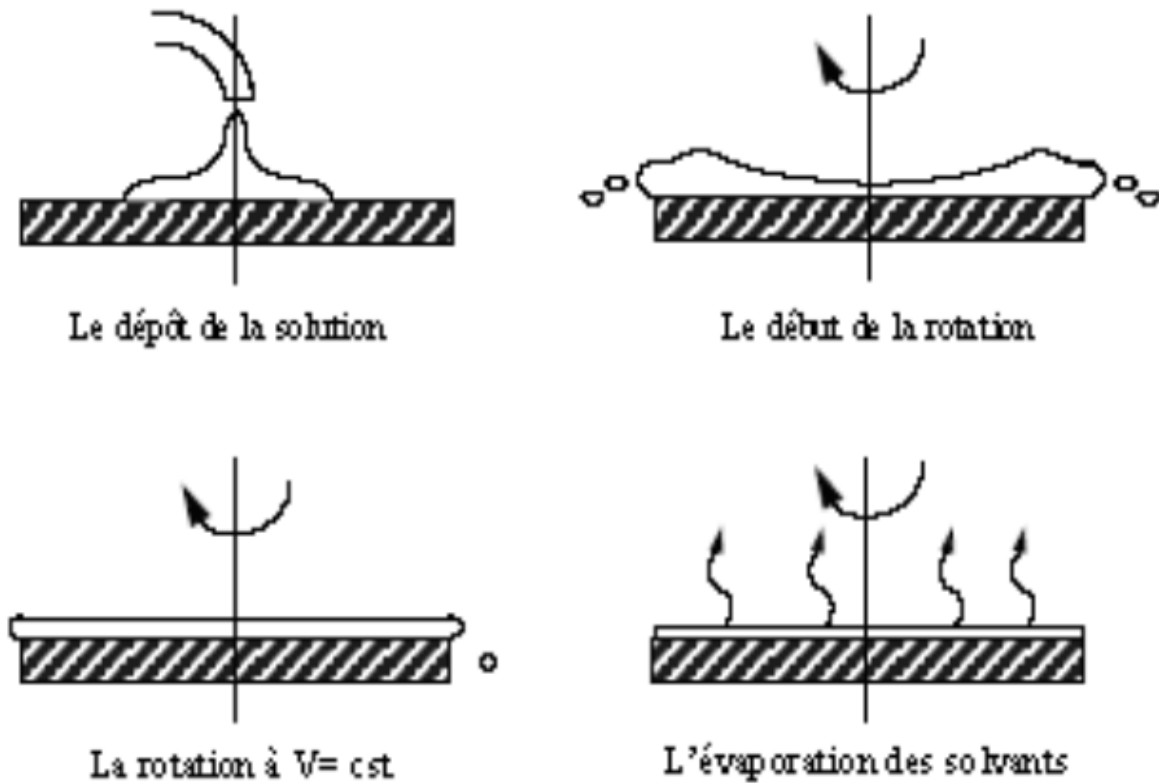


Figure 1.9 : Dépôt de couches minces par le procédé de centrifugation ou spin-coating.

Figure 1.10 : Vitesse de rotation en fonction du temps

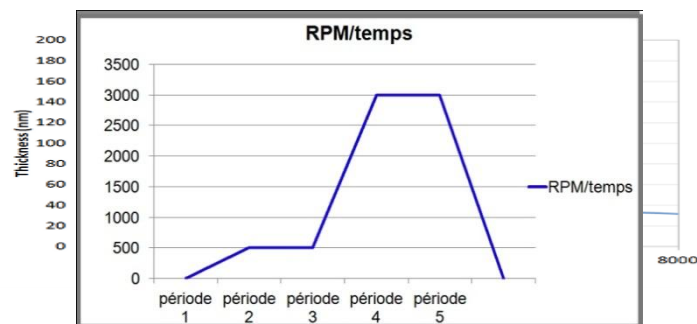
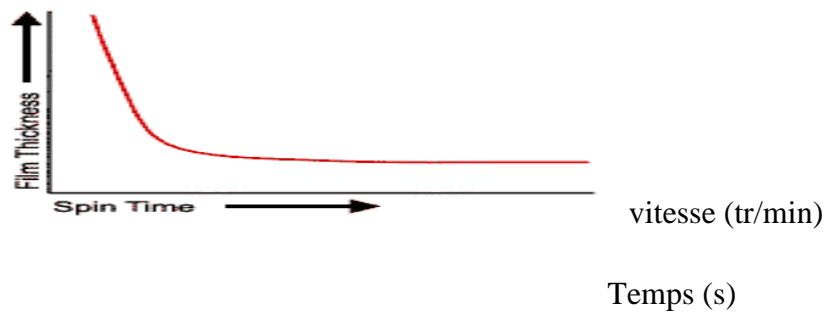


Figure 1.11 : Epaisseur du film en fonction de la vitesse de rotation**Figure 1.12** : Epaisseur de la couche en fonction du temps de rotation

I.8 Type de tournette (sping coater)

Il existe plusieurs types des tournettes avec des interfaces différent.

➤ La tournette Laurell WS

La tournette Laurell WS-650-23B est compacte et doté de plusieurs fonctions avancées :

Caractéristique technique :

- Ce système pourra accueillir jusqu'à 150mm wafers
- Elle dispose d'une vitesse de rotation maximale de 12000 tr/min.
- Elle est basée sur une plaquette de silicium de 100mm.

**Figure 1.13** : Spinner WS-650-23B.

➤ Spin coater Mb-SC-200

Le Mb-SC-200 est un spin coater facile à utiliser pour le dépôt précis et uniforme des couches minces. vibration libre et conception compatible de gaz rare lui fait un outil souple et essentiel dans chaque service de recherches.

Le Mb-SC-200 a été spécifiquement conçu pour la recherche et le développement de nouveaux processus et de produits dans l'industrie d'électronique.

Caractéristique technique :

- Vitesse de rotation de 100 jusqu'à 7000 tr/min.
- Paramètres d'étalement de la résine est programmables.
- Contrôle principale avec l'interface humaine – machine (IHM)
- Wafer jusque à 8" ou des substrats jusque à 6*6.



Figure 1.14 : Spin coater Mb-SC-200

➤ Spin coater braive instrument

Pour ce spin coater, Les paramètres agissant sur l'épaisseur et la qualité du dépôt sont les suivants :

- La vitesse d'accélération : le temps que met l'appareil à atteindre la vitesse de consigne est un paramètre influant sur la qualité du dépôt.
- le temps est compris entre 5 et 10 secondes selon la vitesse de consigne.

- La vitesse de rotation : le Spin-coater permet d'atteindre des vitesses de rotation comprises entre 10 et 1500 tr. /min.
- Le volume de solution introduit. Ce paramètre joue sur la quantité de matière introduite et donc nécessairement sur l'épaisseur.
- ce spin coater facilite la mise en œuvre.



Figure 1.15 : Spin-coater Braive Instrument.

I.9 Domaine d'utilisation

Il existe deux types de tournette dont l'une est conçue pour les travaux de l'industrie de la microélectronique qui apparaît comme un secteur potentiellement et crucial et l'autre est conçue pour les travaux de laboratoire, et surtout pour les activités de recherches et de développement.

Conclusion

Le présent chapitre a exposé la notion de dispositif MEMS. Ils sont moins encombrants, plus légers et rapides. De plus, ils sont moins consommateurs en énergie. Cependant, ils sont à coûts de conception et test d'équipement relativement élevés.

La tournette est l'une des équipements utilisés dans la fabrication des MEMS.

Chapitre:2

Etude et conception de la partie commande de la tournette

II.1 Introduction

Pour concevoir un bon dispositif de contrôle d'une tournette (spin coater), il est nécessaire de passer par l'étude conceptuelle et choisir la solution technologique adéquate qui vise à répondre aux besoins du cahier des charges fonctionnel.

Dans ce chapitre nous présentons une description détaillée des composants nécessaires pour la réalisation de la carte de commande de notre spin coater.

II.2 Cahier des charges

Noter travail consiste à assurer les tâches suivantes :

1. Utiliser un moteur qui assure une grande vitesse de rotation.
2. Réguler la vitesse de rotation.
3. Commander une unité d'affichage.
4. Afficher les données en temps réel.
5. concevoir un capteur de vitesse

II.3 Schéma synoptique

Ce schéma montre les connexions entre les différents composants.

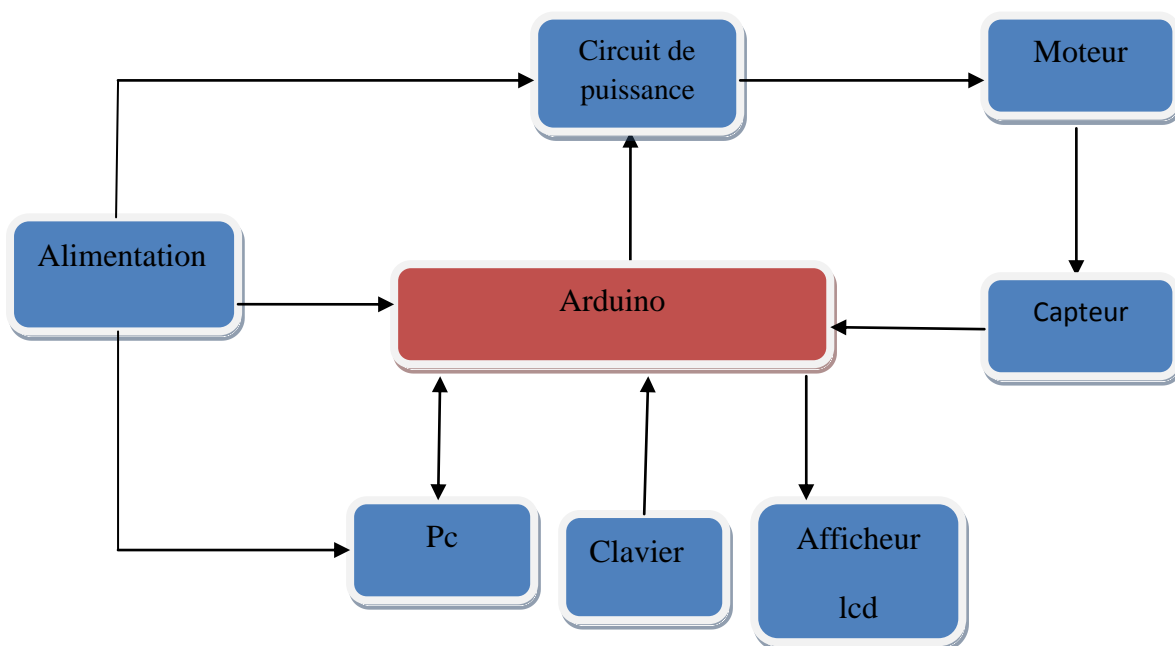


Figure 2.1 : Schéma synoptique de la commande

Dans cette partie on va présente chaque élément du schéma synoptique

- **La carte Arduino**

Pour satisfaire les besoin du cahier de charge on choisi la carte Arduino mega2560 qui est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation à voir en détaille dans le chapitre III.

- **L'affichage :**

Tout projet qui nécessite tant de convivialité ou de contrôle pour l'utilisateur doit comporter un afficheur. En effet, celui-ci permet de manière très rapide de révéler n'importe quelle information qui pourrait être utile au programmeur ou à l'usager.

L'afficheur LCD alphanumérique est le composant idéal pour ce type d'application : le nombre de caractères étant limité mais suffisant, il se contrôle aisément au travers d'une arduino. Le modèle utilisé comporte quatre lignes de vingt caractères qui permettent de créer une petite interface utilisateur efficace et dispose d'un rétro éclairage offrant la possibilité de lire des informations dans l'obscurité et qui ajoute une touche moderne et attractive au boîtier.

Les afficheurs à cristaux liquides, autrement appelés afficheurs LCD (Liquid Crystal Display), sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants externes pour un bon fonctionnement. Ils consomment relativement peu courant (de 1 à 5 mA), bons marchés et s'utilisent avec beaucoup de facilité.



Figure 2.2 : afficheur LCD 4x20

➤ **L'afficheur utilisé dispose de :**

- 4 lignes de 20 caractères.

- Une RAM (DDRAM : DATA RAM) de 80 caractères correspondant.

- Une RAM (CGRAM : CHARACTER GRAPHIC RAM) permettant de créer de nouveaux caractères.

-Le registre d'instruction I R: (Instruction Register) :

C'est le registre de contrôle, suivant la valeur que l'on met dedans l'afficheur exécute des opérations de configurations. Il permet aussi de positionner le curseur parmi les 80 adresses de l'afficheur.

-Le registre de données D R: (Data Register) :

Suivant la valeur que l'on met dedans l'afficheur peut afficher un caractère (Code *ASCII* ou spécifiques) ou créer une ligne d'une matrice d'un nouveau caractère [10].

Cet afficheur nécessite une alimentation de 5V pour pouvoir alimenter son pilote interne et ainsi permettre l'affichage des caractères sur l'écran. La résistance variable permet de pouvoir modifier le contraste à tout moment. Ce LCD possède huit bits de données. Le composant propose en effet un mode de transmission sur 8 bits ou sur 4 bits (Dans ce mode, seul les 4 bits de poids fort (D4 à D7) de l'afficheur sont utilisés pour transmettre les données et les lises. Les 4 bits de poids faible (D0 à D3) sont alors connectés à la masse). Il possède également trois lignes de contrôle : une de lecture ou d'écriture de données sur le LCD, une qui informe si les données servent à la configuration de l'afficheur ou à l'affichage, et une qui avertit l'afficheur qu'un caractère est présent sur le port.

➤ **Rôle des différentes broches de l'afficheur LCD :**

- Les PIN 1 et 2 (VSS et VDD) : Alimentation de l'afficheur LCD en 0V- 5V.
- Le PIN 3 (VEE) : Entrée permettant de régler le contraste de l'afficheur LCD.
- Le PIN 4 (RS: Register Select) : cette entrée permet d'indiquer à l'afficheur si l'on souhaite réaliser une commande (RS=0) par des instructions spécifiques ou écrire une donnée (envoi du code du caractère à afficher) sur le bus (RS=1).

- Le PIN 5 (R/W: Read/write) : entrée de lecture (R/W=1) et d'écriture (R/W=0). Lorsqu'on commande l'afficheur LCD il faut se placer en écriture.
- Le PIN 6 (E: ENABLE) : entrée de validation, elle permet de valider les données sur un front descendant. Lorsque E=0 alors le bus de données est à l'état haute impédance.
- Les PIN 7 à 14 (D0...D7) : bus de données bidirectionnel, il permet de transférer les instructions ou les données à l'afficheur LCD.

Broche	Nom	Description
1	Vss	Masse
2	Vdd	Alimentation 5v
3	CO	Variables de 0 à 5v permet de modifier le contraste de l'afficheur
4	RS	Indique une commande ou une donnée à afficher (0: Commande / 1: Donnée)
5	R/W	Indique une écriture ou une lecture (0: Ecriture / 1: Lecture)
6	E	Indique une validation (Le niveau Haut doit être maintenu 500µs)
7	D0	Bus de données bidirectionnel.
8	D1	
9	D2	
10	D3	
11	D4	
12	D5	
13	D6	
14	D7	
15	A	Anode rétroéclairage (+5V)
16	K	Cathode rétroéclairage (masse)

Figure 2.3 : la description des broches de LCD

- **Le clavier (keypad)**

C'est un clavier à 16 boutons poussoirs monté en forme matricielle (4 lignes et 4 colonnes).

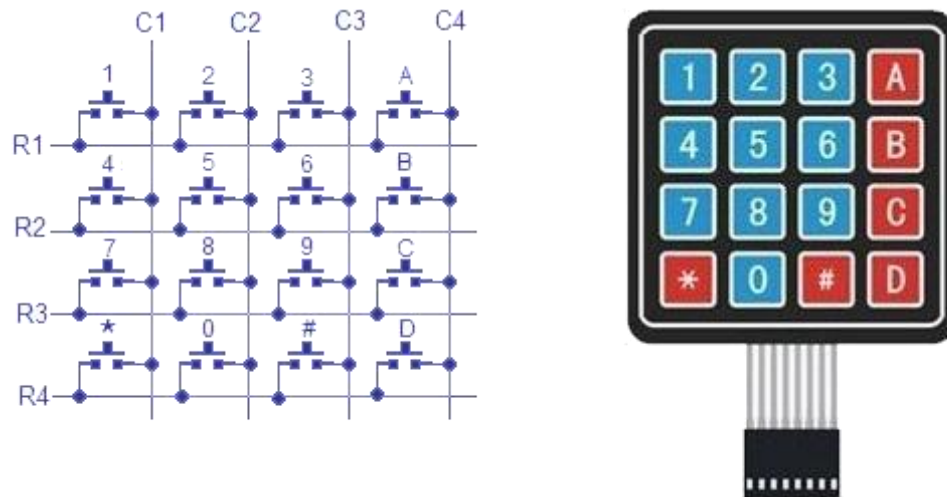


Figure 2.4 : Architecture interne du clavier à 16 boutons poussoirs.

Le branchement d'un afficheur LCD et le clavier se fait comme suit [11]

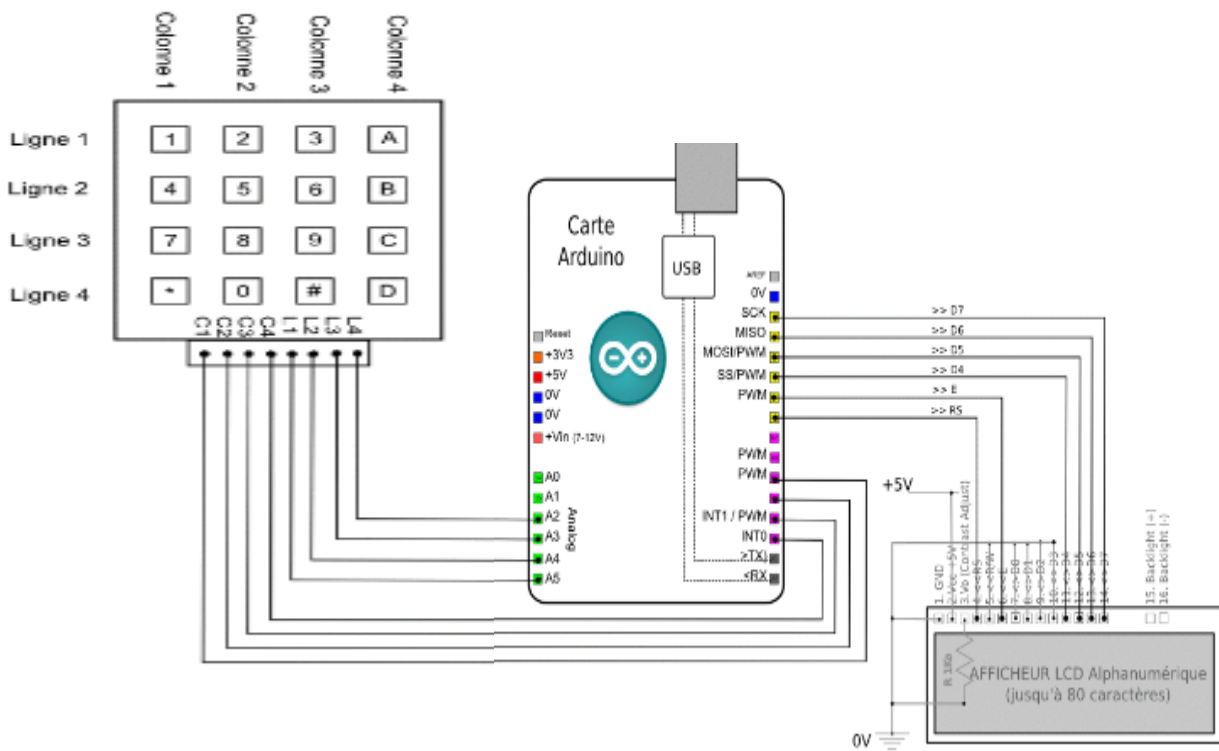


Figure 2.5 : Branchement d'un afficheur LCD et le clavier avec une Arduino

- **Le moteur**

- **Choix du moteur**

Il existe plusieurs type de moteur : moteur pas à pas, à courant continu, ou les moteur brushless. Le choix de notre moteur sera en fonction du cahier des charges donnés au début de chapitre ainsi que la charge supportée.

Le moteur utiliser dans l'application est le (RS-455PA-17150-DC24V_0.05A)

Dont ses caractéristiques sont :

La vitesse de rotation max : 4300tr/min.

Le couple : 0.93N/m [12].



Figure 2.6 : MABUCHI Motor

II.4 Commande de moteur à courant continu

La production de l'énergie électrique et sa transformation en énergie mécanique sont la base de la structure industrielle. Cette transformation est possible grâce aux moteurs électriques à courant alternatif et à courant continu.

II.4.1 Définition de la machine à courant continu

Les machines à courant continu sont des machines tournantes réversibles qui transforment l'énergie mécanique en énergie électrique «générateur ou dynamo» ou inversement, c'est-à-dire, qu'elles transforment l'énergie électrique en énergie mécanique «moteur».

II.4.2 Constitution

La machine à courant continu est constituée de trois parties principales : une partie fixe (stator) ou inducteur, une partie mobile (rotor) ou induit et le dispositif balais/ collecteur.

- **L'inducteur**

Le Stator (L'inducteur) est un organe électrotechnique, généralement un électroaimant, ayant comme fonction d'induire un champ. Il se compose principalement: de la carcasse, des paliers, des flasques de palier et des portes balais.



Figure 2.7 : Inducteur

- **L'induit :**

L'induit du moteur à courant continu est composé d'un arbre sur lequel est empilé un ensemble de disques ferromagnétiques. Des encoches sont axialement pratiquées à la périphérie du cylindre formé par les disques empilés. Dans ces encoches les enroulements (bobines de l'induit) sont "bobinés" selon un schéma très précis et complexe.



Figure 2.8 : Induit

Chaque enroulement est composé d'une série de sections, elles même composées de spires. Pour que l'enroulement soit parcouru par un courant, ses conducteurs de départ et de retour sont connectés aux lames du collecteur (cylindre calé sur l'arbre et composé en périphérie d'une succession de lames de cuivre espacée par un isolant).

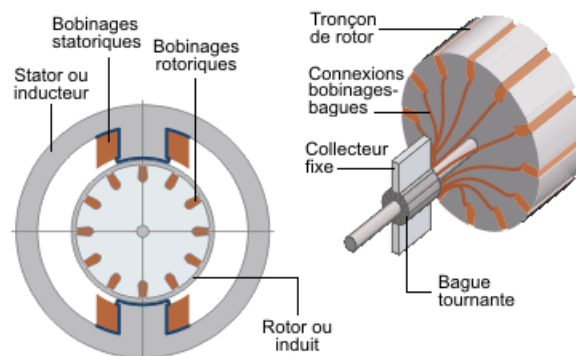


Figure 2.9: Composition de l'induit

- **Le collecteur et les 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. Le dispositif collecteur / balais permet donc de faire circuler un courant dans l'induit [13].



Figure 2.10: L'ensemble balais, porte-balais et collecteur

Le point de contact entre les balais et le collecteur constitue le point faible du moteur à courant continu.

II.4.3 Rappel des formules fondamentales suivant le type de fonctionnement :

Une machine à courant continu est une machine électromagnétique réversible. Elle est susceptible de fonctionner en moteur ou en génératrice :

Quand elle fonctionne en moteur elle absorbe de la puissance électrique et fournit de la puissance mécanique, la relation entre la tension, la force électromotrice et la résistance de l'induit et l'intensité du courant qui traverse l'induit est alors

$$U = RI + E + r$$

r : inductance de l'induit

Quand elle fonctionne en génératrice elle absorbe la puissance mécanique et fournit la puissance électrique, la relation entre la tension, la force électromotrice, la résistance de l'induit et l'intensité de courant qui traverse l'induit.

$$U = E - RI$$

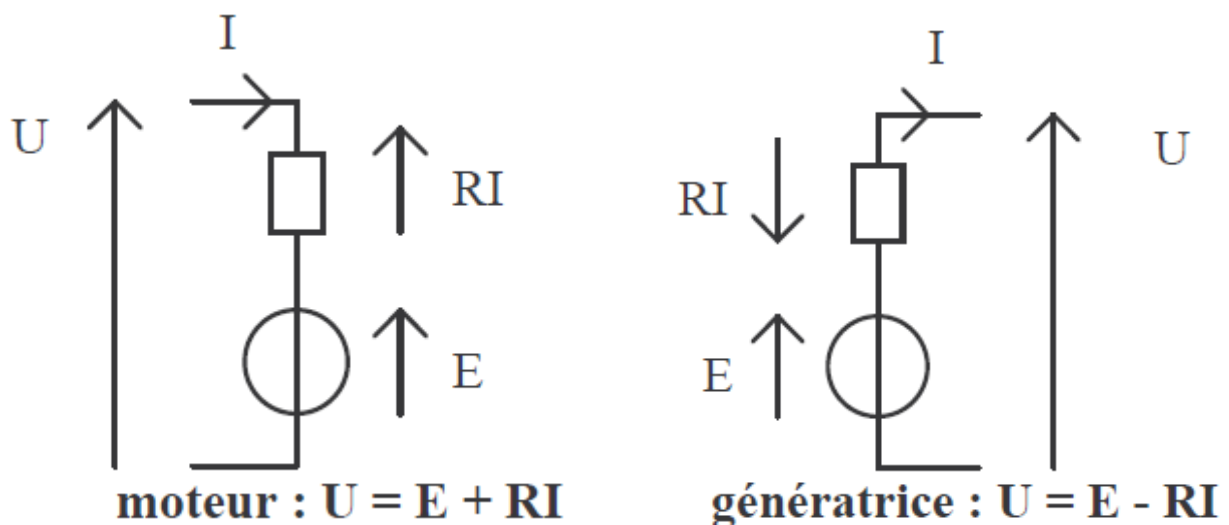


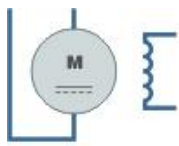
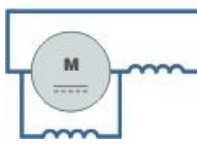


Figure 2.11 : moteur et génératrice

II.4.4 Types d'alimentations de moteur à courant continu

Il existe 4 types différents de moteurs électriques :

Type de moteur	Définition	Caractéristique
moteur à excitation série 	L'induit et l'inducteur sont branchés en série, le courant qui le traverse est le même	<ul style="list-style-type: none"> - Il supporte la surcharge - Vitesse variable avec la charge - Fort couple de démarrage
moteur à excitation shunt 	L'induit et l'inducteur sont branchés en parallèle, une seule alimentation est utilisée	<ul style="list-style-type: none"> - Vitesse presque constante - faible couple ou démarrage
moteur à excitation séparée 	L'alimentation de l'induit (rotor) et de l'inducteur est totalement différente	<ul style="list-style-type: none"> - Vitesse variable avec la charge - Un couple important ou démarrage
moteurs à excitation composée (mixte) 	Il porte deux enroulements inducteurs dont l'un est placé en série avec l'induit et l'autre en parallèle	-Un fort couple de démarrage et une instabilité de vitesse avec absence de l'emballement.

II.4.5 Description et principe de fonctionnement

Lorsque l'inducteur est alimenté, il crée un champ magnétique dans l'entrefer. Ce champ magnétique pénètre dans l'induit du côté du pôle Nord de l'inducteur et sort de l'induit du côté du pôle Sud de l'inducteur.

Quand l'induit est alimenté, ses conducteurs situés sous un même pôle inducteur (d'un même côté des balais) sont parcourus par des courants de même sens et sont donc, d'après la loi de Laplace : $d\vec{f} = I \cdot d\vec{l} \wedge \vec{B}$, soumis à une force. Les conducteurs situés sous l'autre pôle sont soumis à une force de même intensité et de sens opposé. Les deux forces créent un couple qui fait tourner l'induit du moteur.

II.4.6 Les équations caractéristiques du moteur

La relation entre la tension la force électromotrice et la résistance de l'induit est :

$$U = E + RI \quad (1)$$

La tension est proportionnelle à la vitesse angulaire

$$E = K \cdot \omega \quad (2)$$

Le courant consommé par le moteur est directement lié au couple résistant sur l'arbre

$$c = K \cdot I \quad (3)$$

U (volt): Tension d'alimentation

E (volt): Force Electromotrice (fem)

R(Ohm) : Résistance interne

ω : Vitesse angulaire

K : Constante du moteur

I : Courant

Φ : Le flux

A partir de l'équation (2) et (3) on peut déduire la relation :

$$\omega = \frac{U - RI}{K\Phi} \quad (4)$$

La résistance de l'induit R est très faible, elle peut être négligée, on obtient donc

$$\omega = \frac{U}{K\Phi} \quad (5)$$

L'équation (5) montre que la variation de la vitesse est possible en variant la tension d'alimentation de l'induit U . La vitesse est pratiquement proportionnelle à la tension d'induit.

II.4.7 Alimentation du moteur

Le moteur peut être alimenté simplement par un relais électromécanique ou par un transistor associé à une diode de roue libre. Le plus souvent, le moteur à besoin de tourner dans les deux sens de rotation, on utilise alors un dispositif nommé pont en H. Dans notre cas on a besoin d'un seul sens de rotation donc on utilise un transistor.

Notre unité de commande est alimentée à 5V alors que la plage de fonctionnement du moteur est de 12 à 24V. Donc pour commander le moteur sans griller notre carte programmable nous avons besoin d'un circuit de puissance intermédiaire entre les deux unités.

Pour cela nous avons choisis d'utiliser un transistor bipolaire NPN et une diode de roue libre :

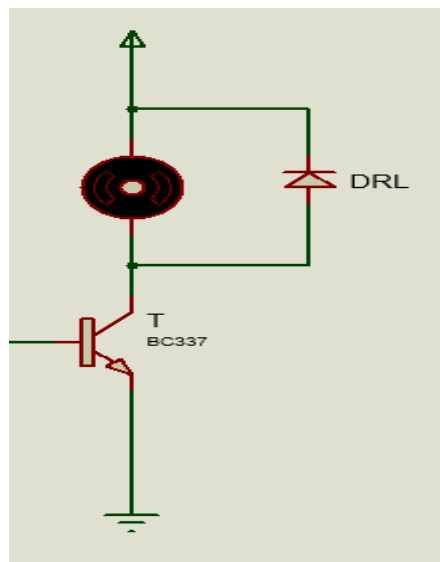


Figure 2.12 : Circuit de puissance du moteur

➤ **La diode de roue libre (DRL) :**

La diode de roue libre se connecte en parallèle avec une charge inductive pour la continuité du courant électrique dans l'inductance.

➤ **Dimensionnement de la diode de roue libre**

La diode de roue libre doit supporter en tension la tension d'alimentation. Si on pilote un moteur en 24V la diode doit supporter au moins 24V.

Pour la commande de notre moteur, nous avons utilisé la diode IN4007 classique (100V, 200mA).

➤ **Le transistor :**

Caractéristique Maximal [16]:

Paramètres	Symboles	Valeur	Unité
Collecteur-Emetteur voltage	V_{ce0}	60	V
Collecteur-base voltage	V_{cb0}	60	
Emetteur-base voltage	V_{be0}	2	
Courant au collecteur	I_c	3	A
Courant à la base	I_b	0.075	A
Puissance totale de dissipation à $T_c=25^\circ\text{C}$	P_{tot}	30	Pc
Température à la jonction	T_j	135	$^\circ\text{C}$
Plage de température de fonction	T_{stg}	-60...+150	$^\circ\text{C}$

II.4.8 Variation de la vitesse d'un moteur à courant continu

Quand on veut faire varier la vitesse d'un moteur, la première idée qui vient à l'esprit est de faire varier la tension aux bornes du moteur mais on constate que pour des valeurs faibles de la tension, le moteur ne tourne pas. Donc dans ce cas une partie importante de l'énergie est consommée par le dispositif d'alimentation. La solution à ce problème est astucieuse. Il suffit de fournir au moteur une tension qui est toujours la même soit la tension maximale. En appliquant cette tension par des très courtes périodes de temps. En ajustant la longueur de ces périodes de temps on arrive à faire tourner plus ou moins vite les moteurs. On remarque aussi que la vitesse des moteurs devient proportionnelle à la longueur des de cette dernière (périodes de temps). Cette méthode est appelée modulation par largeur d'impulsion(MLI).

II.4.8.1 Méthode de commande par largeur d'impulsion

- **Définition**

La Modulation par Largeur d'Impulsions (MLI) ou PWM (Pulse With Modulation) est un signal numérique, donc la tension peut prendre deux valeurs seulement. Le signal est carré, Le niveau bas correspond généralement à 0 Volt. La période est notée T, la durée de l'impulsion (pour laquelle la tension est celle de l'état haut) est appelée t_h . Si la période change, le signal n'est plus vraiment périodique au sens strict. On appelle alors T le pseudo période.

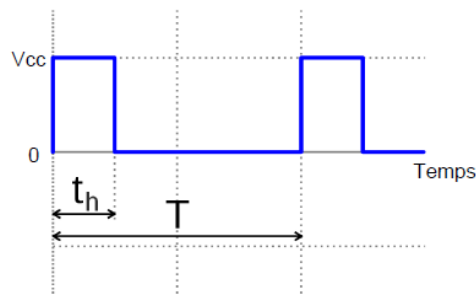


Figure 2.13 : graphe d'une MLI

- **Intérêt**

Les principaux avantages de la technique MLI est de

- limiter la chauffe des composants électroniques.
- la tension appliquée au moteur pendant t_h est Vcc. Celle-ci est suffisante pour vaincre les frottements et faire tourner le moteur.
- La tension moyenne appliquée au moteur est proportionnelle au rapport cyclique
- les signaux numériques sont moins sensibles au parasite que les signaux analogique donc ils sont plus robustes

- **Rapport cyclique:** On appelle rapport cyclique le rapport : $a=100 \times \frac{t_h}{T}$ exprimé en pourcentage.

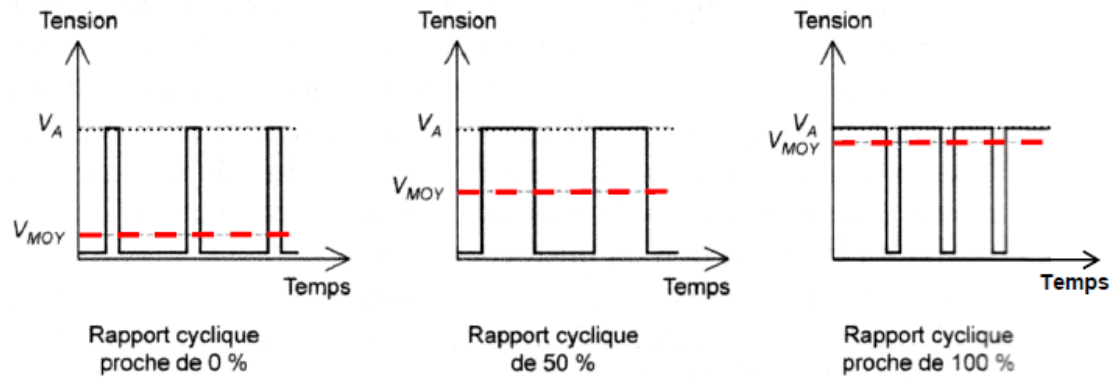


Figure 2.14 : MLI avec différents rapports cycliques

Il existe de nombreuses façon de mesurer la vitesse en tr/min dans tout le secteur industriel, qu'il soit mécanique ou optique, dont le codeur incrémental qui est composé de l'optocoupleur et une roue codeuse. Notre choix c'est porter sur le capteur à fourche avec une roue codeuse.

II.5 Optocoupleur

Un optocoupleur (ou photocoupleur) en fourche basique est formé d'une LED infrarouge et d'un phototransistor ou d'une photodiode associée dans un même boîtier plastique. Il y a un isolement électrique entre les deux. Les deux composants sont face à face et séparés par une fente dans laquelle il est possible de faire passer une roue encodeuse ou un objet rotatif quelconque. L'ensemble forme une barrière photo-électrique miniature.

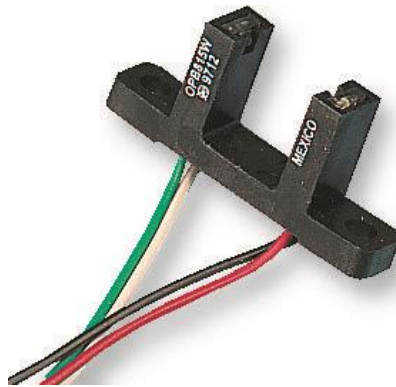


Figure 2.15 : Optocoupleur à fourche

Un optocoupleur se représente de la façon suivant :

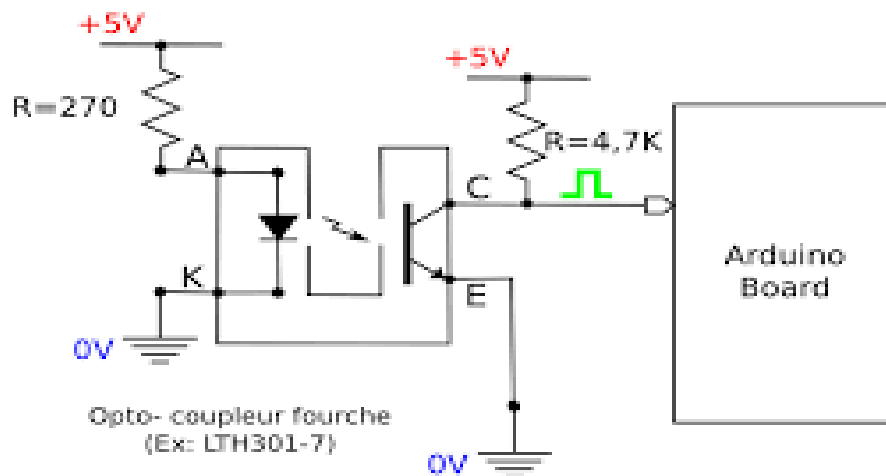


Figure 2.16: Symbole d'un optocoupleur et Arduino

Ce composant dispose de 4 broches :

- Les deux premières broches notées A et K correspondent aux broches de la LED
- Les deux autres broches notées C et E correspondant respectivement au collecteur et à l'émetteur du phototransistor. La base du transistor est ici une "photobase" qui au lieu de recevoir un courant reçoit les photons en provenance de la LED.

II.5.1 Principe de fonctionnement de l'optocoupleur

Un optocoupleur repose sur une LED et un phototransistor ou une photodiode. Lorsqu'on fait passer un courant dans la LED, elle brille (elle émet de l'infrarouge). La lumière émise par la LED est captée par le phototransistor qui devient alors passant. On peut donc transmettre un courant électrique tout en isolant électriquement. Dans son principe, l'optocoupleur fait les conversions successives : courant électrique - lumière infrarouge - courant électrique.

- Lorsque le phototransistor n'est pas éclairé, il n'est traversé par aucun courant.
- Lorsque le phototransistor est éclairé, il est traversé par un courant.

Pour pouvoir compter le nombre de tours de rotation du moteur nous allons utiliser une roue codeuse, qu'on va placer entre l'émetteur et le récepteur de l'optocoupleur. Plus il y a des trous dans la roue, plus la précision est grande.

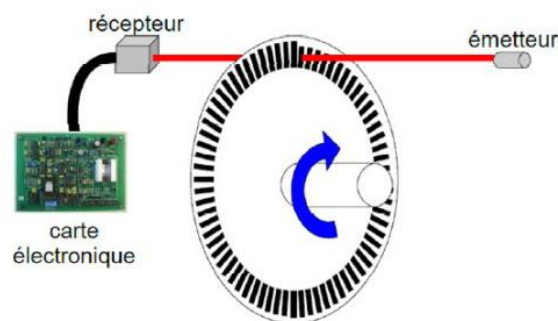


Figure 2.17 : Placement de la roue entre l'émetteur et récepteur de l'optocoupleur



Figure 2.18 : La roue codeuse

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons décrit les différents composants qu'on va utiliser pour la réalisation de la carte de commande de la tournette.

Une étude sur la modulation par largeur d'impulsion (MLI), et comment faire varier la vitesse d'un moteur à courant continu a été également présentée.

Chapitre:3

La carte Arduino Mega2560 et sa Programmation

III .1 Introduction

D'après l'exigence du cahier des charges, et vu le nombre d'entrées/sorties nécessaire à la réalisation, notre choix à été fixé sur la carte arduino 2560.

Le projet Arduino (2005) est issu d'une équipe d'enseignants et d'étudiants de l'école de Design d'Interaction d'Ivrea suite au problème rencontré à cette période là. Les outils nécessaire à la création de projets d'interactivité étaient complexes et excessivement chers ce qui rendaient difficile le développement des projets et ralentissait l'apprentissage des étudiants. Donc ils se concentrèrent sur la réalisation d'un matériel moins cher et plus facile à utiliser. Ils souhaitaient créer un environnement proche de Processing (langage de programmation développé en 2001 par **Benjamin Fry** et **Casey Reas**) et de la carte Wiring (un langage de programmation facile d'accès et adaptée aux développements de projets de designers crée par Hernando Barragan en 2001 pour sa thèse de fin d'étude) pour arriver à un dispositif simple à utiliser, dont les coûts seraient peu élevés, les codes et les plans libres (Les sources peuvent être modifiés, améliorés ou distribués par les utilisateurs) et multi-plates-formes (indépendant du système d'exploitation utilisé).

L'Arduino est composé de deux parties indissociables : La carte qui est la partie hardware avec laquelle on travaille en construisant chaque projet et la plateforme IDE ARDUINO qui est la partie logicielle fonctionnant sur le PC celle-ci permet de mettre au point et de transférer le programme qui sera par la suite exécutée par la carte ARDUINO.

Les projets Arduino peuvent être autonomes, comme ils peuvent communiquer avec d'autres logiciels installés sur l'ordinateur tel que Flash, Processing ou MaxMPS, Matlab). Ces cartes sont faites à base d'une interface entrée/sortie simple et d'un environnement de développement proche du langage C. Il existe plusieurs types de carte :

- Arduino Uno.
- Arduino Mega 2560.
- Arduino Leonardo.
- Arduino Esplora.
- Arduino Nano.
- Arduino LilyPad.
- Arduino Due
- Arduino Yun

III .2 Description de la carte Arduino Méga 2560

III .2 .1 Définition

Arduino Mega 2560 est une carte à base de microcontrôleur ATmega 2560.



Figure 3.1 : La carte arduino Méga 2560

Ses caractéristiques sont :

- Micro contrôleur : ATmega 2560
- Tension de fonctionnement = 5V
- Tension d'alimentation (recommandée)= 7 à 12V, limites =6 à 20 V
- Broches Entrées/sorties numériques : 54 dont 14 disposant de sorties PWM (modulation de largeur d'impulsions)
- Entrées analogiques = 16
- Courant max par broche E/S = 40 mA
- Courant max sur sortie 3,3V = 50mA
- Mémoire Flash 256 KB dont 8 KB utilisée par le boot loader
- Mémoire SRAM 8 KB
- Mémoire EEPROM 4 KB
- Fréquence horloge = 16 MHz.

III.2.2 Les composants de la carte

- **Le microcontrôleur ATMEGA2560**

C'est le processeur de la carte, il s'occupe de tout ce qui est calcul, exécution des instructions du programme et gestion des ports d'entrées/sorties. Il dispose de 4 Ko de mémoire vive, et 256 Ko de [17] mémoire flash pour stocker les Programmes.



Figure 3.2 : Le microcontrôleur ATMEGA2560

Pour les besoins de l'Arduino le microcontrôleur devait être petit et bon marché, les développeurs ont donc opté pour le circuit ATmega2560 qui réunit ces deux conditions. Il est associé à des ports entrées/sorties qui permettent à l'utilisateur de communiquer avec l'environnement.

- **54 Entrées/Sorties**

Chaque une de ces broches peut être utilisé comme une entrée ou une sortie (comme indiquer dans le programme), en utilisant les fonctions `pinMode ()`, `digitalWrite ()`, et `digitalRead ()`. Chaque broche peut fournir ou recevoir un maximum de 40mA d'intensité.

- **Communication**

La carte Arduino Mega2560 dispose de toute une série de facilités pour communiquer avec un ordinateur, une autre carte Arduino, ou avec d'autres microcontrôleurs. L'ATmega2560 dispose de quatre UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter ou émetteur-récepteur asynchrone universel) pour communication série de niveau TTL (5V) et qui est disponible sur les broches 0 (RX) et 1 (TX), 19 (RX) et 18 (TX) ,17 (RX) et 16 (TX), 15 (RX) et 14 (TX). Un circuit intégré ATmega8U2 sur la carte assure la connexion entre cette communication série de l'un des ports série de l'ATmega 2560 vers le port USB de l'ordinateur qui apparaît comme un port COM virtuel pour les logiciels de l'ordinateur.

- **SPI (Interface Série Périphérique) :** Broches 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Ces broches supportent la communication SPI (Interface Série Périphérique). Les broches SPI sont également connectées sur le connecteur ICSP qui est mécaniquement compatible avec les cartes Uno, Duemilanove et Diecimila
- **I2C:** Broches 20 (SDA) et 21 (SCL). Supportent les communications de protocole I2C (ou interface TWI (Two Wire Interface))
- **La LED:** Il y a une LED incluse dans la carte connectée à la broche 13. Lorsque la broche est au niveau HAUT, la LED est allumée, lorsque la broche est au niveau BAS, la LED est éteinte

Pour faire un appel à l'interruption, on utilise l'instruction `attachInterrupt` (interruption, fonction, mode)

Avec :

Interruption : est le numéro de l'interruption (type int)

Fonction: est la fonction à appeler quand l'interruption survient, elle ne doit recevoir aucun paramètres et ne renvoie rien. Cette fonction est également appelée une routine de service d'interruption.

Mode : est définit la façon dont l'interruption externe doit être prise en compte. Quatre constantes ont des valeurs prédéfinies valables

- LOW : pour déclenchement de l'interruption lorsque la broche est au niveau BAS,
 - CHANGE : pour déclenchement de l'interruption lorsque la broche change d'état BAS/HAUT
 - RISING : pour déclenchement de l'interruption lorsque la broche passe de l'état Haut vers le Bas
 - FALLING : pour déclenchement de l'interruption lorsque la broche passe de l'état HAUT vers l'état BAS (front descendant).
 - HIGH : pour déclenchement de l'interruption lorsque la broche est au niveau HAUT.
- Interruptions Externes: Broches 2 (interruption 0), 3 (interruption 1),

18 (interruption5), 19 (interruption 4), 20 (interruption 3), et 21 (interruption 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.

L'avantage de l'interruption est d'économiser la CPU et elle est très utilisée pour faire des fonctions de façon automatiques dans un programme.

- Impulsion PWM (largeur d'impulsion modulée) : Broches 0 à 13. Fournissent une impulsion PWM 8 bits à l'aide de l'instruction `analogWrite ()`.

- **Broches analogiques**

La carte Mega2560 dispose de 16 entrées analogiques, chacune pouvant fournir une mesure d'une résolution de 10 bits (c.à.d sur 1024 niveaux soit de 0 à 1023) à l'aide de la fonction `analogRead()` du langage Arduino. Par défaut, ces broches mesurent entre le 0V (valeur 0) et le 5V (valeur 1023), mais il est possible de modifier la référence supérieure de la plage de mesure en utilisant la broche AREF et l'instruction `analogReference ()` du langage Arduino.

- **L'alimentation**

La carte Arduino Mega 2560 peut-être alimentée soit via la connexion USB (qui fournit 5V jusqu'à 500mA) ou à l'aide d'une alimentation externe (batterie ou prise jack). L'alimentation externe pouvant fournir 3V à 12V sous 500mA) La source d'alimentation est sélectionnée automatiquement par la carte. En utilisant les broches Gnd (masse ou 0V) et Vin (Tension positive en entrée) de 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 et endommager la carte. Aussi, la plage idéale recommandée pour alimenter la carte est 7V et 12V. 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). Vous pouvez alimenter la carte à l'aide de cette broche.
- 5V:La tension régulée utilisée pour faire fonctionner le microcontrôleur et les autres composants de la carte.

Remarque : les circuits électroniques numériques nécessitent une tension d'alimentation parfaitement stable dite "tension régulée" obtenue à l'aide d'un composant appelé un régulateur et qui est intégré à la carte Arduino). 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 (qui fournit du 5V régulé) ou de tout autre source d'alimentation régulée.

- 3V3 : 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) de la carte est disponible ceci est intéressant pour certains circuits externes nécessitant cette tension au lieu du 5V). L'intensité maximale disponible sur cette broche est de 50mA.

- GND : Broche de masse (ou 0V).

La figure 3.3 représente l'emplacement des différents composants sur la carte arduino

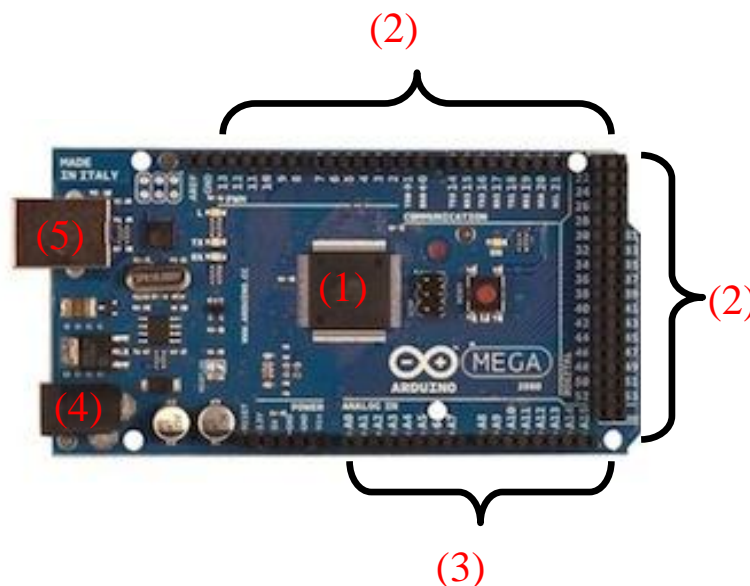


Figure 3.3 : les différents composants de la carte Arduino

(1) : le microcontrôleur

(2) : les 54 entres sortie numérique

(3) : les 16 entres analogiques


(4) : alimentation externe

(5) : le port USB

(6) bouton de remis a zéro

III.3 Présentation de logiciel arduino

III.3.1 Lancement de logiciel arduino

Double clic sur l'icône 

La fenêtre suivante apparait:

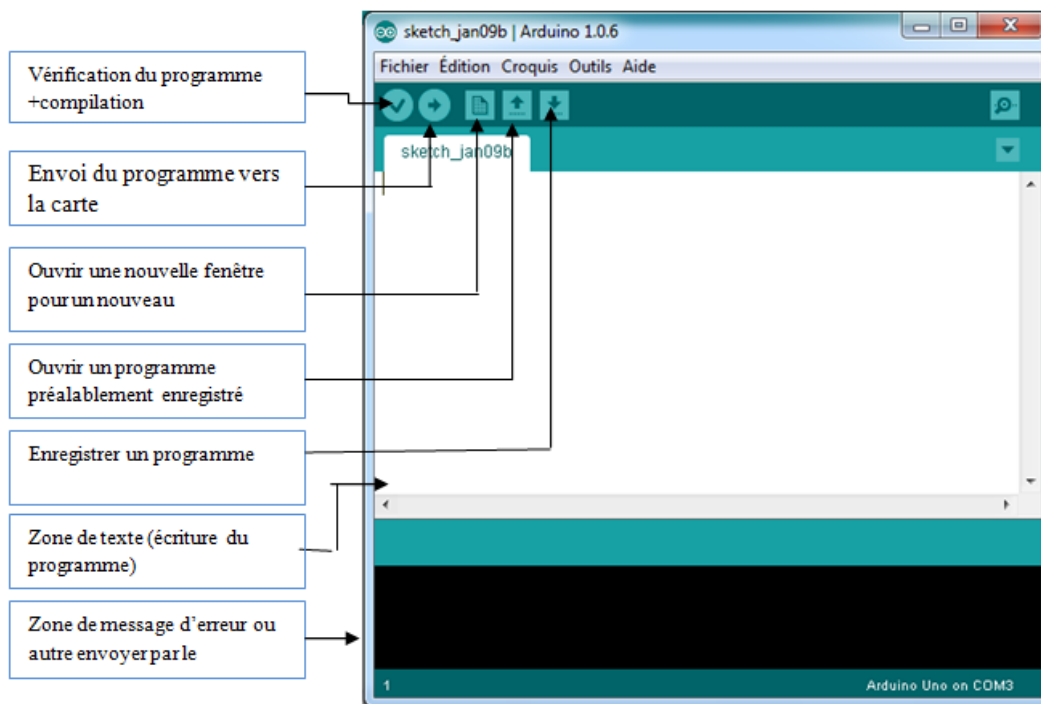
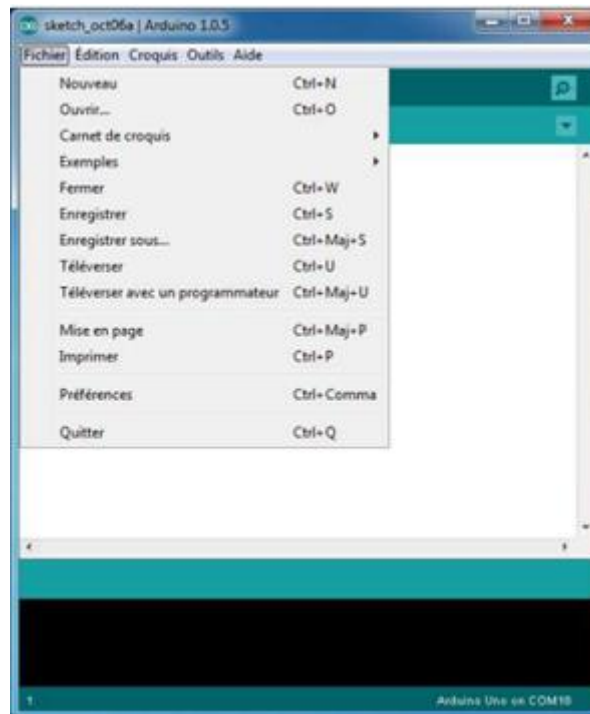


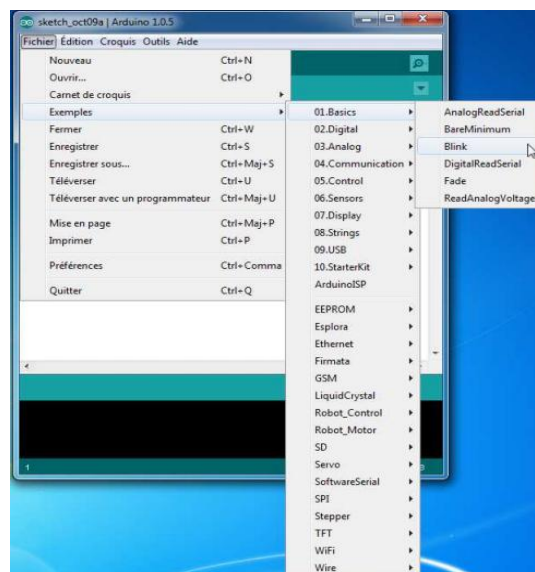
Figure 3.4 : le logiciel Arduino.



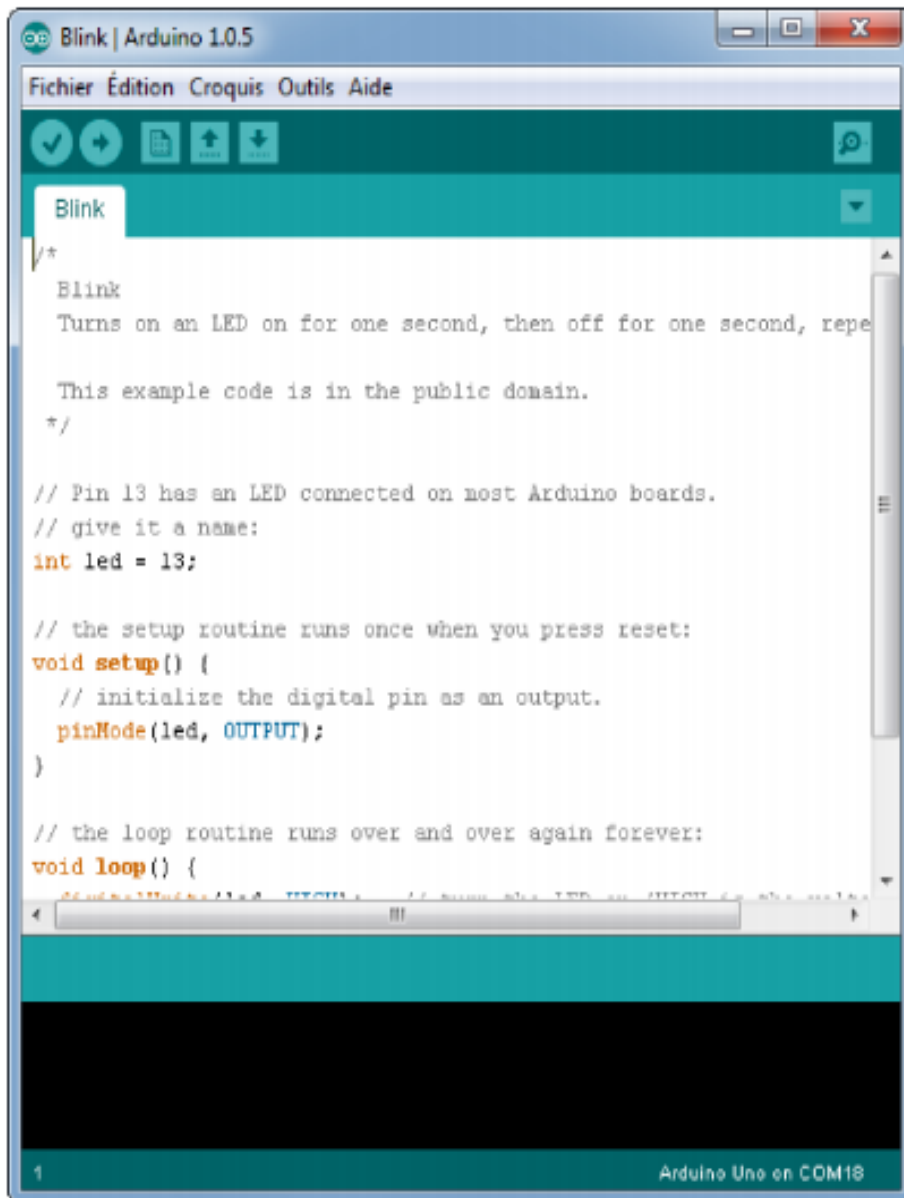
- Carnet de croquis : ce menu regroupe tous les fichiers que vous avez pu faire jusqu'à maintenant.
- Exemples : il comporte, toute une liste pour afficher les noms d'exemple de programme existant, qui peuvent nous aider à créer des programmes.

1^{er} étape : ouvrir un programme

- Nous allons choisir un exemple tout simple qui consiste à faire clignoter une LED. le nom de l'exemple est blink qu'on trouve dans la catégorie basics.



- Une fois que vous avez cliqué sur Blink, une nouvelle fenêtre va apparaître. Elle va contenir le programme Blink.



The screenshot shows the Arduino IDE interface with the 'Blink' program loaded. The window title is 'Blink | Arduino 1.0.5'. The menu bar includes 'Fichier', 'Édition', 'Croquis', 'Outils', and 'Aide'. The toolbar contains icons for saving, undo, redo, and uploading. The code editor displays the following code:

```
/*
 * Blink
 * Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.
 *
 * This example code is in the public domain.
 */

// Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards.
// give it a name:
int led = 13;

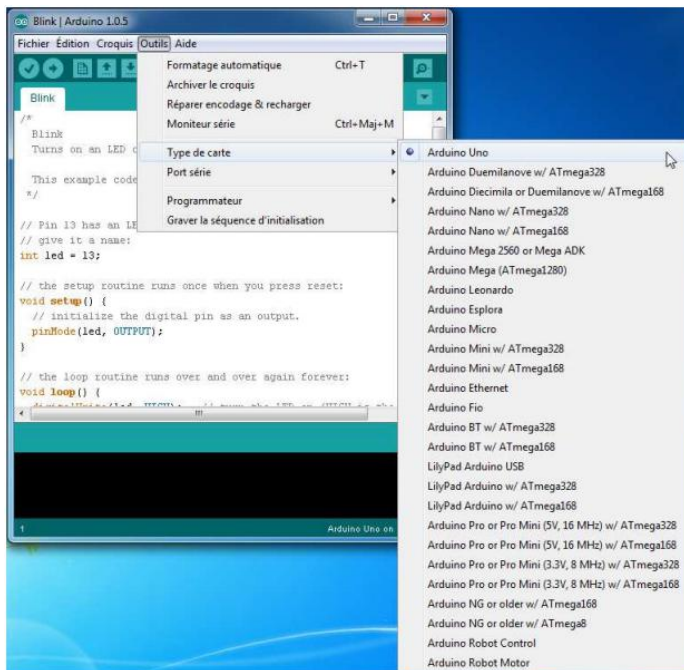
// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  pinMode(led, OUTPUT);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
  digitalWrite(led, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the positive voltage)
  delay(1000);             // wait for a second
  digitalWrite(led, LOW);  // turn the LED off by making the pin LOW (no voltage)
  delay(1000);             // wait for a second
}
```

The status bar at the bottom indicates '1' and 'Arduino Uno on COM18'.

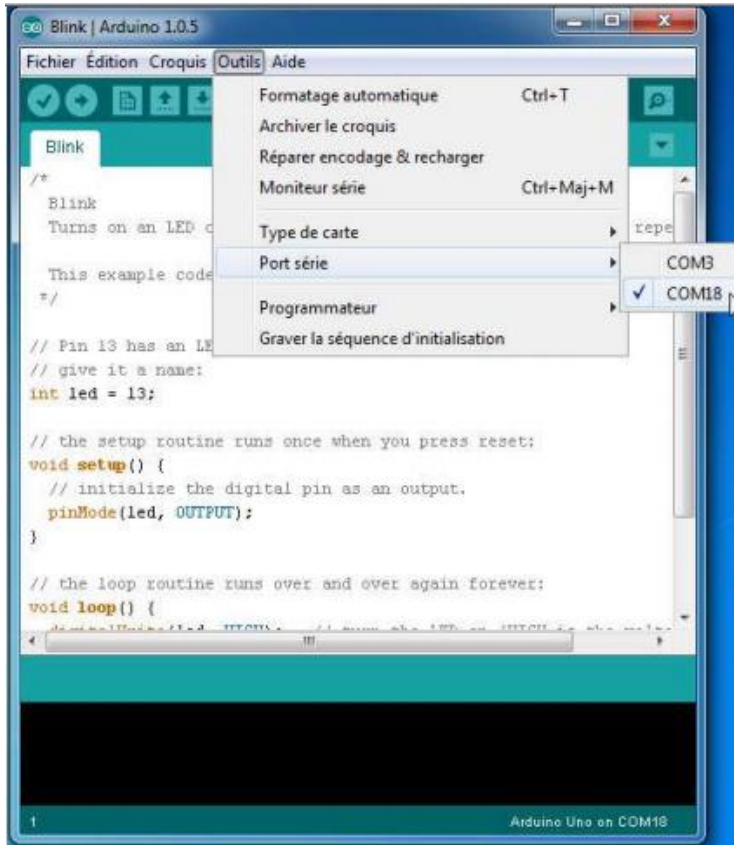
2^{ème} étape :

- Avant d'envoyer le programme *Blink* vers la carte, il faut spécifier dans le logiciel quel est le type de la carte et sur quel port elle est branchée. Choisir la carte que l'on va programmer. Ce n'est pas très compliqué, le nom de votre carte est indiqué sur elle. Pour nous, il s'agit de la carte "mega 2560". Allez dans le menu "Tools" ("outils" en français) puis dans "Board" ("carte" en français). Vérifiez que c'est bien le nom "Arduino mega2560" qui est coché. Si ce n'est pas le cas, cochez-la.

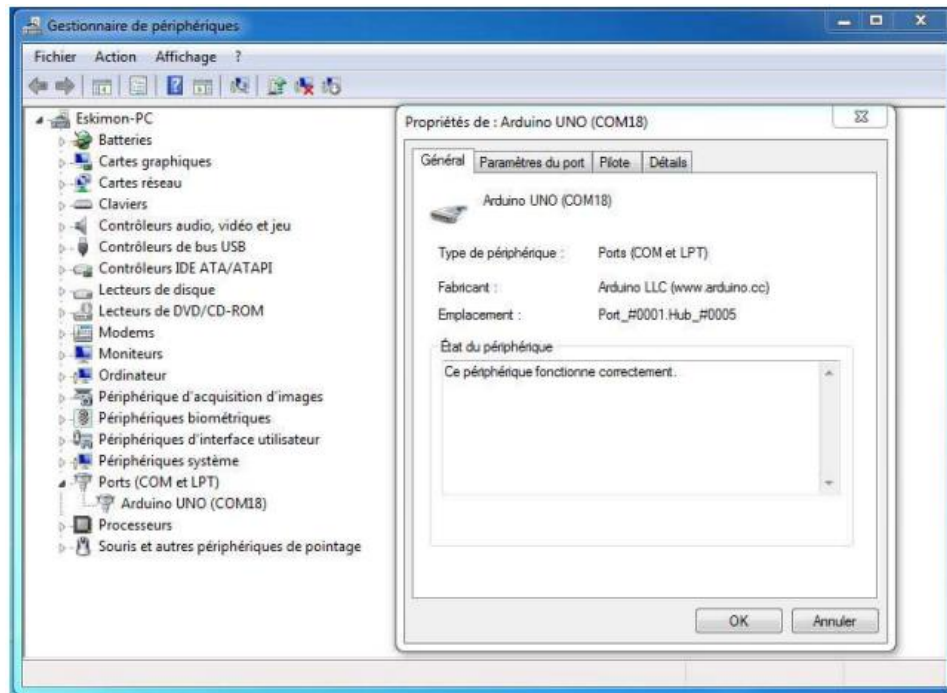


- Choisissez le port de connexion de la carte. Allez dans le menu Tools, puis Serial port. Là, vous choisissez le port COM X, X étant le numéro du port qui est affiché. Ne choisissez pas COM1 car il n'est quasiment jamais connecté à la carte. Dans notre cas,

il s'agit de COM18 :



- Pour trouver le port de connexion de la carte, vous pouvez aller dans le gestionnaire de périphérique qui se trouve dans le panneau de configuration. Regardez à la ligne Ports (COM et LPT) et là, vous devriez avoir Arduino mega2560 (COMX). Aller, une image pour le plaisir :



Dernière étape :

Il va falloir envoyer le programme dans la carte. Pour ce faire, il suffit de cliquer sur le bouton Téléverser.

III.3.2 Le principe de fonctionnement de l'IDE de Arduino

- Concevoir le programme avec le logiciel Arduino.
- Vérification du programme (compilation).
- Faire les corrections nécessaires dans le cas de présence des messages d'erreur.
- Enregistre le programme.
- Charger le programme dans la carte(en utilisant le câble qui relie une imprimante a un ordinateur).
- Vérification du fonctionnement du montage.

III.3.3 Structure d'un programme

Un programme sur un Arduino est une suite d'instructions élémentaires et séquentielles, Il y a trois parties principales :

1. Une partie définition et déclaration des variables
2. Une partie pour la configuration des entrées-sorties en utilisant la fonction `void setup ()`
Les broches numériques de l'Arduino peuvent aussi bien être configurées en entrées numériques ou en sorties numériques. En utilisant l'instruction `PinMode (nom, état)`.
3. Une partie pour la programmation des instructions en utilisant la fonction `void loop ()`
Dans cette boucle, on définit les opérations à effectuer, dans l'ordre tel que `digitalWrite (nom, état)` et `delay (temps en millisecondes)`.

III.3.4 Quelques instructions utilisées par arduino

Fonctions	
Entrées-sorties numériques	<ul style="list-style-type: none"> • <code>pinMode(broche, état)</code> (configuration des broches) • <code>digitalWrite(broche, état)</code> (écrire un état sur une broche num.) • <code>digitalRead(broche)</code> (lire un état sur une broche num.) • <code>unsigned long pulseIn(broche, état)</code> (lire une impulsion sur une broche num.)
Entrées analogiques	<ul style="list-style-type: none"> • <code>int analogRead(broche)</code> (lire la valeur d'une broche ana.) • <code>analogWrite(broche, valeur)</code> (PWM : écrire une valeur analogique sur les broches 9, 10 ou 11)
Gestion du temps	<ul style="list-style-type: none"> • <code>unsigned long millis ()</code> (temps de fonctionnement du programme) • <code>delay(ms)</code> (attente, en millisecondes) • <code>delayMicroseconds(us)</code> (attente, en microsecondes)
Nombres aléatoires	<ul style="list-style-type: none"> • <code>randomSeed(seed)</code> (aléatoire 'pilote') • <code>long random(max)</code> (aléatoire à partir de telle valeur) • <code>long random(min, max)</code> (aléatoire entre deux valeurs)
	<ul style="list-style-type: none"> • <code>char</code> (variable 'caractère')

Variables	<ul style="list-style-type: none"> • int(variable 'nombre entier') • long (variable 'nombre entier de très grande taille') • string (variable '')
Niveaux logiques des connecteurs numériques	<ul style="list-style-type: none"> • HIGH (état 1) • LOW (état 0) • INPUT (configuré en entrée) • OUTPUT (configuré en sortie)

III.4 Domaine d'utilisation de la carte Arduino

Au sens large, construire des systèmes physiques interactifs qui utilisent des logiciels et du matériel pouvant s'interfacer avec des capteurs et des actionneurs. la carte arduino est très utilisé dans les domaines :

- Électronique industrielle et embarquée
- Art / Spectacle.
- Domotique
- Robotique
- Modélisme

Conclusion :

Dans le présent chapitre, une description détaillée de la carte Arduino a été donnée suivie de sa configuration, et sa programmation. La simplicité de la carte Arduino la laisse privilégiée de s'adapter dans beaucoup domaine.

1- Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons tout d'abord une introduction au logiciel de programmation Proteus utilisé pour la simulation de notre application. Puis nous donnerons l'organigramme de fonctionnement de la tournette et le programme réalisé sous Proteus. Enfin nous présenterons les différents branchements effectués entre la carte arduino, les différents composants de la carte de commande et PC.

2-Logiciel de simulation Proteus

Proteus est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société Labcenter Electronics, les logiciels incluent dans Proteus permettent la CAO dans le domaine en électronique. Deux logiciels principaux composent cette suite logicielle: ISIS, ARES, PROSPICE et VSM.

Cette suite logicielle est très connue dans le domaine de l'électronique. De nombreuses entreprises et organismes de formation (incluant lycée et université) utilisent cette suite logicielle. Outre la popularité de l'outil, Proteus possède d'autres avantages

- Pack contenant des logiciels facile et rapide à comprendre et utiliser
- Le support technique est performant
- L'outil de création de prototype virtuel permet de réduire les coûts matériel et logiciel lors de la conception d'un projet

- **ISIS**

Le logiciel ISIS de Proteus est 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 grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits.

- **ARES**

Le logiciel ARES est un outil d'édition et de routage qui complètement parfaitement ISIS. Un schéma électrique réalisé sur ISIS peut alors être importé facilement sur ARES pour réaliser le PCB de la carte électronique. Bien que l'édition d'un circuit imprimé soit plus efficace lorsqu'elle est réalisée manuellement, ce logiciel permet de placer automatiquement les composants et de réaliser le routage automatiquement.

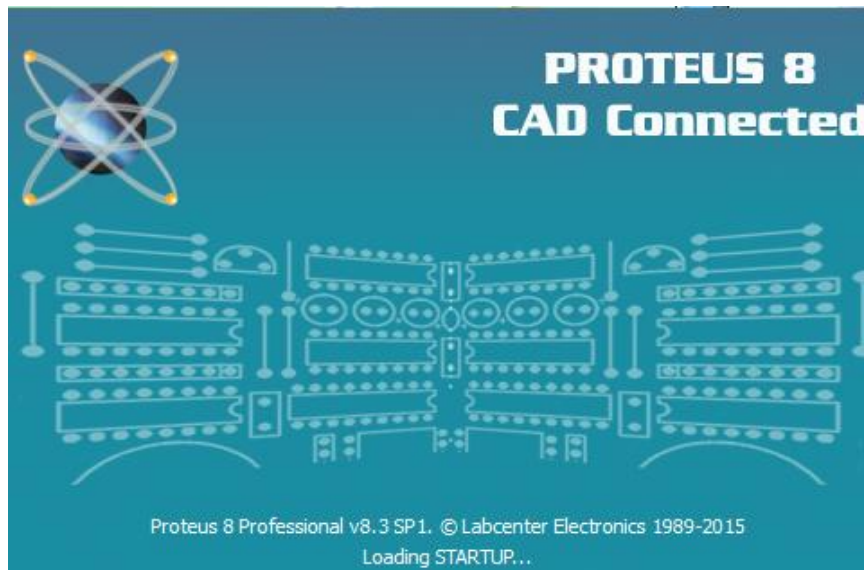


Figure 4.1 : le logiciel proteus

3-Organigramme de fonctionnement de la tournette

L'organigramme ci-dessous représente les étapes suivies pour réaliser le programme de fonctionnement de la tournette par le logiciel arduino.

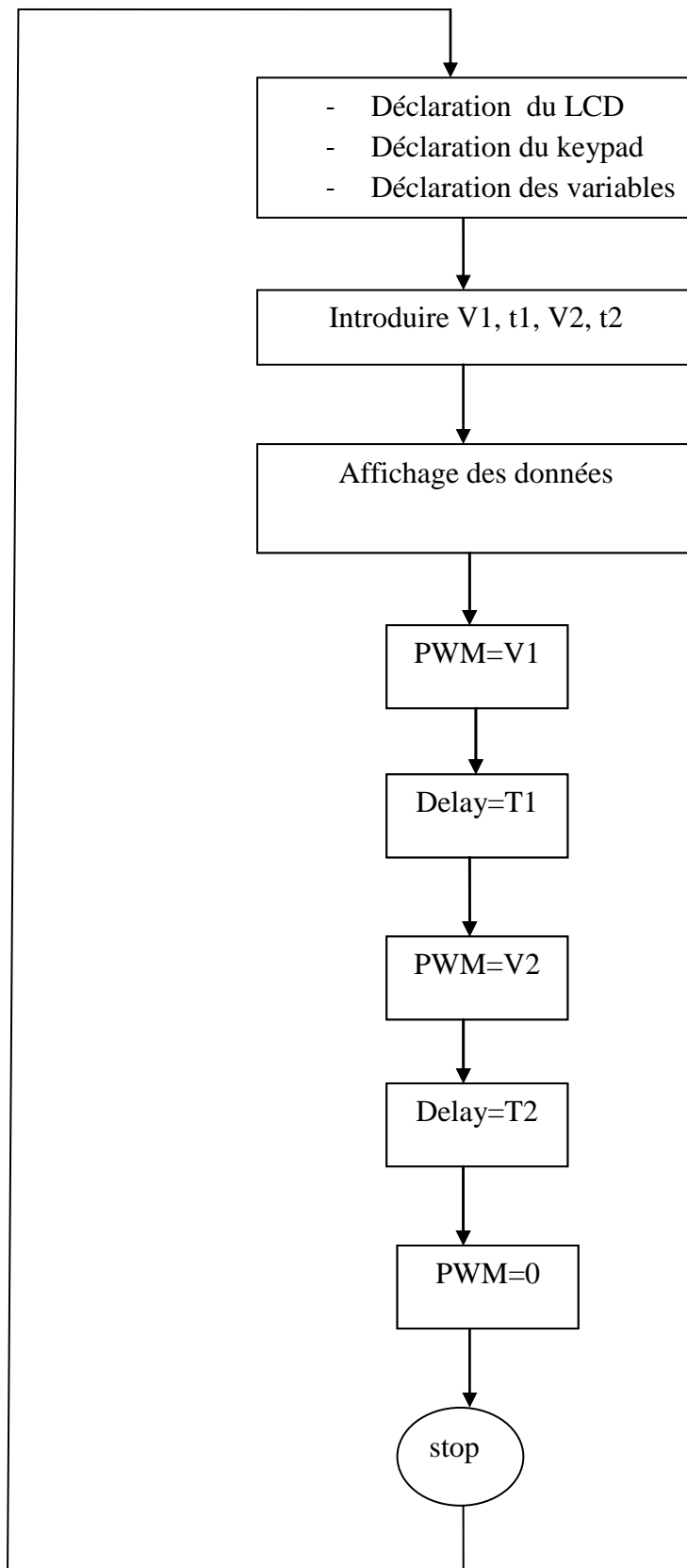


Figure 4.2 : Organigramme de fonctionnement

4-Schéma de simulation de la carte de commande sous Proteus

Avant de passer à la réalisation pratique de notre système nous avons eu recours à la simulation des différentes parties du système. Pour cela on a utilisé le logiciel ISIS qui est un très bon logiciel de simulation en électronique. La figure (4.3) représente le schéma de la carte de commande réalisé.

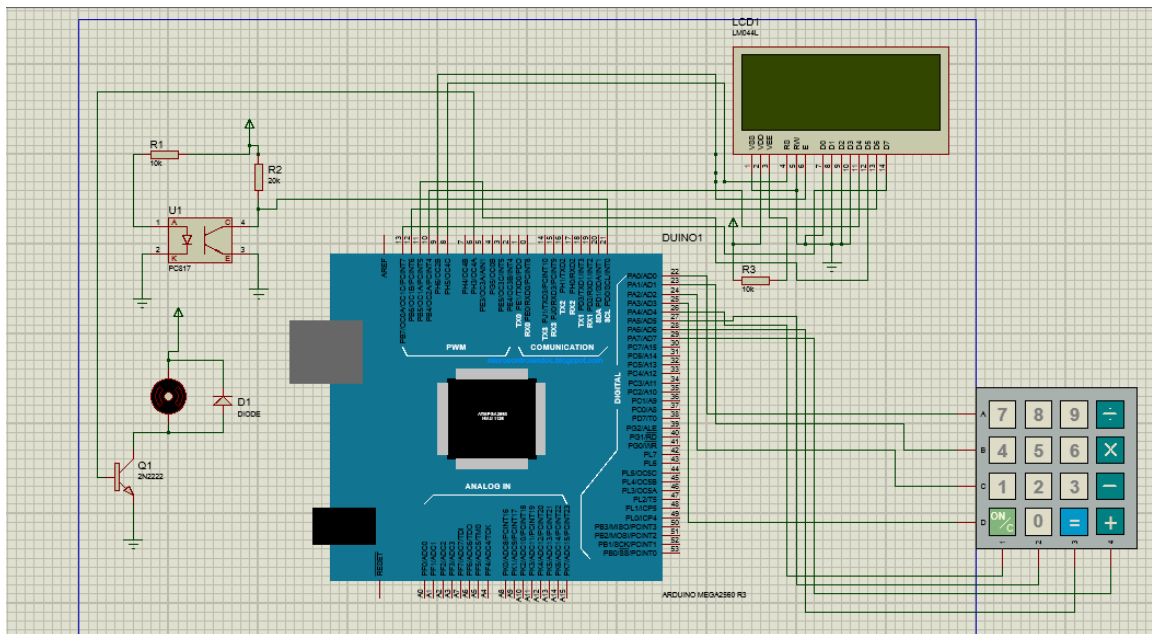


Figure 4.3 : Schéma de la carte de commande de la tournette

5-Réalisation

Avant de faire la réalisation complète de notre système, nous avons testé le programme de chaque composant à part, ensuite, nous avons rassemblé le tous dans un programme final.

Pour transférer le programme arduino vers la carte Arduino 2560, nous avons d'abord connecté le PC à la carte arduino par le câble d'imprimante.



Figure 4.4: la tournette

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons réalisé la commande de la tournette. Des schémas de branchement des différents éléments ont été également présentés.

La découverte des microsystemes fait une révolution technologique et à engendrée une concurrence remarquable entre différent entreprises fabricante de téléphone, tabletteetc .

Ce présent travail s'inscrit dans le cadre des activités du développement des technologies avancée CDTA, tout au long de ce travail on c'est intéresse à la conception et la réalisation de la partie commande de la tournette en utilisant la Carte Arduino mega2560 afin de permettre à l'operateur d'introduire les données (vitesse et temps) via le clavier, la mesure de cette vitesse et l'affichage des données en temps réel.

Au cours de ce projet on a eu l'opportunité de travailler sur plusieurs domaines à la fois notamment la programmation, l'électronique, la robotique et l'automatique.

Comme perspectives pour ce travail nous envisageons :

- utilisation d'un régulateur PID.
- Des amélioration peuvent également être apportées pour ce qui concerne le clavier effectivement on peut remplacer par n'importe quel système androïde (téléphone , tabletteetc) en utilisant un Schilde Ethernet .

Référence bibliographique

- [1] : Série ARAGO 21, Directeur Marc DUPUIS, Microsystèmes, Edition OFTA, Paris, juin, 1999
- [2] : ROSTAING HERVE "conception, modélisation et fabrication d'un micro- actionneur bistable, hors, plan et magnétique", thèse de doctorat, institut national polytechnique de GRONOBLE, 15 décembre 2004.
- [3] : BENICHOU ABDELKADER "conception et modélisation d'un accéléromètre triaxial", mémoire de magister, juin 2012.
- [4] : Lingfei Zhou « Modélisation VHDL-AMS multi-domaines de structures intelligentes, autonomes et distribuées à base de MEMS » Thèse de Doctorat- l'Université Louis Pasteur - Strasbourg I
- [5] : David Peyrou « Etude Theorique Et Experimentale Des Techniques D'assemblage Et De Mise En Boitier Pour L'integration De Microsystemes Radio-Frequences » Thèse de Doctorat- Université Paul Sabatier de TOULOUSE.
- [6] : Ilya Mirman, "Empowering MEMS Desingers with Esay- to -Use 3D ",2003
- [7] :Tayeb Mohammed Brahim "Micro Technologie de surface "Programme TEMPUS, CDTA, Alger, Juin, 2005
- [8] : Histoire de Graphoplex : <http://www.linealis.org/sommaire/historique-de-graphoplex>
- [9] : «A note on spin-coating with small evaporation», Cregan, V. ; O'Brien, S.B.G., Journal of Colloid and Interface Science (2007), 314, 324-328
- [10] :Datasheet GDM-2004 :<http://www.smarkfun.com/datasheets/LCD/GDM2004D.pdf>
- [11] : http://www.mon-club-elec.fr/pmwiki_mon_club_elec/pmwiki.php?n=MAIN.ArduinoExpertLCDClavierAppuiTouche
- [12] : <http://fr.aliexpress.com/item/1pcs-Mabuchi-RS-455PA-17150-DC24V-Motor-4300rpm-0-05A-198g-cm-Electric-motor/1763014527.html>
- [13] : <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11530>
- [14] : <http://robert.cireddu.free.fr/SI/PWM-MLI.pdf>
- [15] : http://www.diodes.com/_files/datasheets/ds28002.pdf
- [16] : <http://alltransistors.com/fr/transistor.php?transistor=24778>
- [17] : LE GRAND LIVRE D'ARDUINO, Erik Bartman, EYROLLES, 2 éditions, Paris 2014

[18] : http://www.mon-club-elec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n=Main.MaterielMega2560