

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'ELECTRONIQUE

Mémoire de Fin d'Etude de MASTER ACADEMIQUE

Spécialité : **Electronique**

Filière : **Electronique Biomédical**

Présenté par

Farida TALBI

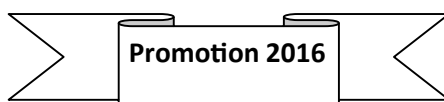
Lynda FERHAT

Mémoire dirigé par **Mr. Hakim Achour** et co-dirigé par **Mr.Ahcen CHAOUCHI**

Thème

Conception et réalisation d'un spin coater pour le dépôt en couches minces

Mémoire soutenu publiquement le



Remerciements :

Nous tenons à exprimer nos profondes gratitudee et nos vifs remerciements à notre promoteur, le professeur **H.ACHOUR** pour sa disponibilité et de nous avoir fait profiter de ses qualités aussi bien sur le plan scientifique que sur le plan professionnel. Un grand merci pour son sérieux, sa patience et son aide.

Nos remerciements s'adressent également au professeur **A.CHAOUCHI** de la faculté des sciences et au **Laboratoire de Recherche Chimie Appliquée & Génie Chimie de l'UMMTO** pour leur disponibilité et leur aide précieux.

Enfin nous remercions tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicace :

À mes très chers parents

À mon cher mari

À ma sœur Dyhia et mon frère Moumouh

À ma belle famille

À mes collègues de la faculté des sciences

À mes amis du Master électronique biomédical 2015-2016.

À la mémoire de mes grands parents ...

Farida

Dédicace:

À mes très chers parents

À mes sœurs Kahina & Lyza

À mes amis du Master électronique biomédical 2015-2016.

À la mémoire de mes grands parents . . .

Lynda

Table des matières

Liste des figures	I
Liste des tableaux	II
Abréviations.....	III

Sommaire :

Introduction générale.

Chapitre I : Notions générales sur les couches minces et les différentes techniques de dépôt

Introduction	1
I.1 Généralités sur les Couches minces	1
I.1.1 Définition d'une couche mince.....	1
I.1.2 Intérêt et caractéristiques des couches minces	1
I.1.3 Applications des couches minces	2
I.1.4 Mécanismes de croissance des couches minces	3
I.1.5 Les différents types de substrat	4
I.2 Quelques méthodes de dépôt de couches minces.....	5
I.2.1 Processus physique (PVD)	6
I.2.1.1 Évaporation thermique	6
I.2.1.2 Pulvérisation cathodique.....	6
I.2.2 processus chimique (CVD)	7
I.2.2.1 Dépôt en phase vapeur chimique (CVD)	7
I.2.2.2 Dépôt par spray pyrolyse	8
I.2.2.3 Dépôt par bain chimique (CBD)	8
I.2.2.4 Méthode Sol Gel " solution-gélification "	8
I.3 Méthodes de caractérisation de couches minces	10
I.4 Méthode choisie pour le dépôt des films : Spin-coating	11

I.4.1	Définition de la technique spin-coating	12
I.4.2	Application de la technique spin-coating	12
I.4.3	Les étapes d'élaboration des couches minces par Spin-coating	13
I.4.4	Traitement thermique des couches déposées.....	14
I.4.5	contrôle de l'épaisseur de la couche mince.....	15
I.4.6	avantage de la méthode spin-coating	15

Chapitre II : Le ZnO, propriétés, applications et élaborations des couches minces.

Introduction	16
II.1 Définition de l'Oxyde de Zinc	16
II.2 Intérêt technologique de l'oxyde de zinc.....	17
II.3 Propriétés de l'oxyde de zinc	17
II.3.1 Propriétés physique de l'oxyde de zinc	17
II.3.2 Les propriétés cristallographiques	18
II.3.3 Propriétés électriques du ZnO	20
II.3.4 Propriétés optiques et luminescence du ZnO.....	20
II.3.5 Propriétés piézoélectriques du ZnO.....	21
II.4 Le ZnO en électronique	21
II.5 Application de ZnO en poudres	22
II.6 Applications de ZnO en couches minces.....	23
II.6.1 Applications en électronique	23
II.6.2 Application en photovoltaïque	24
II.6.3 Applications en médical	24
II.7 Quelques avantages et défauts du ZnO.....	25
II.8 Exemple d'application des couches minces obtenues dans le domaine médical.....	26

Chapitre III : conception du spin coater

Introduction.....	29
-------------------	----

III.1	Présentation du système	28
III.2	Conception du système.....	30
III.2.1	Bloc de Puissance	30
III.2.2	Bloc de commande	35
III.2.3	Interface d'entrées /sortie	36
III.2.4	Bloc d'Alimentation	37
III.3	Partie informatique	38

Chapitre IV : Réalisation du système

Introduction	40
IV.1 étapes de la réalisation pratique de la carte	40
IV.1.1 Simulation du circuit avant sa réalisation	40
IV.1.2 La disposition des différents blocs avant la réalisation	41
IV.1.3 Création et réalisation du circuit imprimé	42
IV.1.4 Développement de la maquette.....	43
IV.1.5 Implémentation des composants sur la carte	44
IV.1.6 Nomenclature des composants.....	45
IV.2 Test et mise en place du système dans l'enceinte	46
IV.3 perspectives et améliorations du système	48

Conclusion générale.

Bibliographie.

Listes des figures :

Chapitre I :

Figure I.1 : *Les étapes du procédé de fabrication de couches minces.*

Figure I.2 : *Quelques méthodes de dépôt des couches minces.*

Figure I.3 : *Schéma représentant le principe de préparation de film mince par La méthode de trempage.*

Figure I.4 : *Schéma représentant le principe de préparation de film mince par La méthode de tournette.*

Figure I.5 : *Représentation schématique d'appareillages de dépôt par dip- et spin-coating.*

Figure I.6 : *Schéma simplifié du procédé d'enduction centrifuge (spin coating).*

Figure I.7 : *Les quatre étapes du dépôt de couches minces par spin coating (ω représente la vitesse de rotation du substrat).*

Chapitre II :

Figure II.1 : *Poudre d'oxyde de zinc.*

Figure II.2 : *Oxyde de Zinc massif sous forme naturelle (a) et (b) et provenant de Synthèse hydrothermal (c).*

Figure II.3 : *Les différentes phases cristallographiques pour l'oxyde de zinc.*

Figure II.4 : *Maille primitive de la phase Würtzite du ZnO.*

Figure II.5 : *Etapes de réalisations d'un biocapteur.*

Figure II.6 : *Mesure de la pression artérielle avec un biocapteur.*

Chapitre III :

Figure III.1 : *Schéma simplifié du dispositif*

Figure III.2 : *Schéma synoptique du dispositif.*

Figure III.3 : *Le rapport cyclique et le calcul d'angle.*

Figure III.4: *Durée des impulsions nécessaire pour la commande.*

Figure III.5 : *Asservissement du moteur*

Figure III.6 : *Valeur des impulsions.*

Figure III.7: *Fonctionnement du moteur.*

Figure III.8: *Branchement du capteur.*

Figure III.9 : *Présence d'un obstacle dans le capteur*

Figure III.10 : *Schéma simplifié du bloc de commande.*

Figure III.11 : *Les lignes et les colonnes du clavier matriciel et sa structure interne.*

Chapitre IV :

Figure IV.1 : *La figure de la simulation.*

Figure IV.2 : *(a) vu de face, (b) vu d'en haut du système sur la plaque d'essai avant sa réalisation pratique.*

Figure IV.3 : *Les composants et le pistes Circuit imprimé.*

Figure IV.4 : *Le Circuit imprimé de la réalisation coté composants*

Figure IV.5 : *Le Circuit imprimé pour la réalisation*

Figure IV.6: *Implantation des composants sur la maquette cotée composants.*

Figure IV.7: *Mise en place du système dans l'enceinte.*

Listes des tableaux :

Tableau II-1: *Propriétés physiques de l'oxyde de zinc sous la forme Wurtzite .*

Tableau I.1 : *Différents signaux du corps humain.*

Abréviations :

PVD : Physical Vapor Deposition.

CVD : Chemical Vapor Deposition.

PECVD : Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition.

LCVD : Laser Chemical Vapor Deposition.

CBD : Chemical Bath Deposition.

MEB : microscopie électronique à balayage.

ZnO : Oxyde de Zinc.

IDE: Integrated Development Environment.

TCO: Transparent Conductive Oxide.

Introduction générale :

Les couches minces semi-conductrices représentent une nouvelle classe de matériau vu le nombre important de recherches, de publications et l'intérêt que leurs porte le milieu scientifique depuis le début des années 80. Ceci s'explique par plusieurs aspects :

- On cherche à miniaturiser le dispositif le plus possible afin de rendre les appareils légers, performants et transportables.
- Les propriétés physiques de ces matériaux sont extrêmement intéressantes : souvent elles s'écartent des caractéristiques des mêmes matériaux à l'état massif. Ceci est dû en grande partie aux effets de surface, qui ne peuvent pas être négligés.

L'élaboration de matériaux sous forme de couches minces présente un intérêt majeur dans des domaines d'applications très variés (microélectronique, optique, médical, chimie...). Ils possèdent en particulier des propriétés physico-chimiques différentes en de nombreux points de celles des matériaux massifs.

Depuis plusieurs années, l'oxyde de zinc (ZnO) suscite un engouement important dans des domaines très variés. Il s'agit d'un composé biocompatible, non toxique pour l'environnement.

Actuellement de nouvelles voies de recherches en microélectronique, optoélectronique, photovoltaïque, ou encore dans le domaine médical ont montré un très vif intérêt pour ce matériau grâce à ses multiples propriétés : grande conductivité thermique, constante diélectrique moyenne, haute résistivité, faible absorption d'eau et notamment sa piézoélectricité.

Différents procédés technologiques peuvent être utilisés pour déposer du ZnO en couches minces. Le choix d'une technique particulière de synthèse dépend de plusieurs facteurs : le matériau à déposer, la nature du substrat, l'application désirée, ...

L'objectif que nous nous sommes fixés dans ce travail est de concevoir et réaliser un appareillage qui va nous permettre d'élaborer des couches minces d'oxyde de zinc pour une éventuelle utilisation dans le domaine médical, en se focalisant sur la technique du spin-coating.

Pour se faire, nous allons suivre le plan suivant :

- Le premier chapitre sera une étude bibliographique consacrée aux couches minces, aux différentes techniques d'élaboration de ces dernières et en particulier à la synthèse par la méthode spin-coating.
- Le deuxième chapitre sera consacré aux propriétés et applications de l'oxyde de Zinc et son dépôt en couche mince et un exemple d'application de ces couches dans le domaine médical sera abordé.
- Dans le troisième chapitre, nous présenterons notre conception du spin-coater et sa simulation sous *Proteus*.
- Et enfin dans le quatrième chapitre, nous allons représenter la réalisation de ce système à base de l'Arduino-Uno.

Chapitre I :
Notions générales sur les couches
minces et les différentes
techniques de dépôt.

Introduction :

Dans ce chapitre nous avons décrit quelques méthodes d'élaborations de couches minces qui sont nombreuses et variées. Après une brève description de ces techniques, nous allons présenter de manière assez détaillée la dernière voie développée, à savoir la méthode « **spin-coating** ». Le choix d'une technique particulière de synthèse dépend de plusieurs facteurs, nous citons en outres : le matériau à déposer, la nature du substrat et l'application désirée...

I.1 Généralités sur les Couches minces :

I.1.1 Définition d'une couche mince :

Une couche mince est une fine pellicule d'un matériau déposée sur un autre matériau, appelé "substrat" dont l'épaisseur a été fortement réduite.

Les couches minces sont principalement utilisées :

- Dans la fabrication de composants électroniques comme les cellules photovoltaïque en raison de leurs propriétés isolantes ou conductrices.
- Pour la protection d'objets afin d'améliorer les propriétés mécaniques, et de résistance à l'usure, et à la corrosion ou en servant de barrière thermique.
- Pour modifier les propriétés optiques d'objets. En particulier, on peut citer les revêtements décoratifs en modifiant le pouvoir réflecteur de surfaces tel les verres antireflets ou miroirs [1].

I.1.2 Intérêt et caractéristiques des couches minces :

L'intérêt accordé aux couches minces provient essentiellement de l'utilisation économique des matériaux en rapport avec les propriétés physiques et de la simplicité des technologies mise en œuvre pour leur réalisation (élaboration facile, peu coûteuse...). Une grande variété de matériaux est utilisée pour produire ces couches minces, on peut citer les métaux, alliages, oxydes, les polymères...

La caractéristique essentielle d'une couche mince est quelle que soit la procédure employée pour sa fabrication, une couche mince est toujours solidaire au support sur lequel elle est construite (même s'il arrive parfois que l'on sépare le film mince du support).

En conséquence, il est impératif de tenir compte de ce fait majeur dans la conception, à savoir que le support influence très fortement les propriétés structurales de la couche qui y est

déposée. Ainsi, une couche mince d'un même matériau, de même épaisseur, pourra avoir des propriétés physiques sensiblement différentes selon qu'elle sera déposée sur un substrat isolant tel le verre, ou un substrat monocristallin tel le silicium [2], [3].

I.1.3 Applications des couches minces :

Les applications les plus pointues se sont diversifiées dans les domaines suivants [4], [5] :

- **Microélectronique** : elle a pu se développer à partir des années 1960 grâce à la mise en œuvre de couches de plus en plus minces conductrices ou isolantes, et on peut les trouver sous : jonction PN, diode, transistor, matériau piézoélectrique, LED...
- **Optique** : les applications optiques des couches minces ont permis de développer des capteurs de rayonnements plus efficaces, comme les couches antireflets dans les cellules solaires, photo détection, affichage-écrans plats, applications ophtalmiques...
- **Chimie** : les principales applications des revêtements de surface sont orientées vers une meilleure tenue à la corrosion par la création d'un film étanche (résistance à la corrosion), capteur à gaz, couches protectrices...
- **Thermique** : l'utilisation d'une couche barrière thermique diminue par exemple la température de surface du métal des ailettes des réacteurs permettant ainsi d'améliorer les performances des réacteurs (augmentation de la température interne)...
- **Biologie** : micro capteurs biologiques, bio puces, matériaux biocompatibles ...
- **Médical** : les verres anti reflet, les lentilles de contact et les électrodes ainsi que les biocapteurs...
- **Micro et nanotechnologies** : capteurs mécaniques et chimiques, micro fluidique, actionneurs, détecteurs...
- **Magnétique**: stockage d'information (mémoire d'ordinateur), dispositifs de sécurité, capteurs...

- **Décoration** : montres, lunettes, bijoux, équipements de maison...

I.1.4 Mécanismes de croissance des couches minces :

Les procédés de films minces se font en trois étapes :

- La production des espèces ioniques, moléculaires, atomiques appropriées.
- Le transport de ces espèces vers le substrat.
- La condensation sur ce même substrat soit directement, soit par l'intermédiaire d'une réaction chimique ou électrochimique afin de former le dépôt solide [6].

Les procédés de déposition de couches minces sont illustrés dans la figure I.1 :

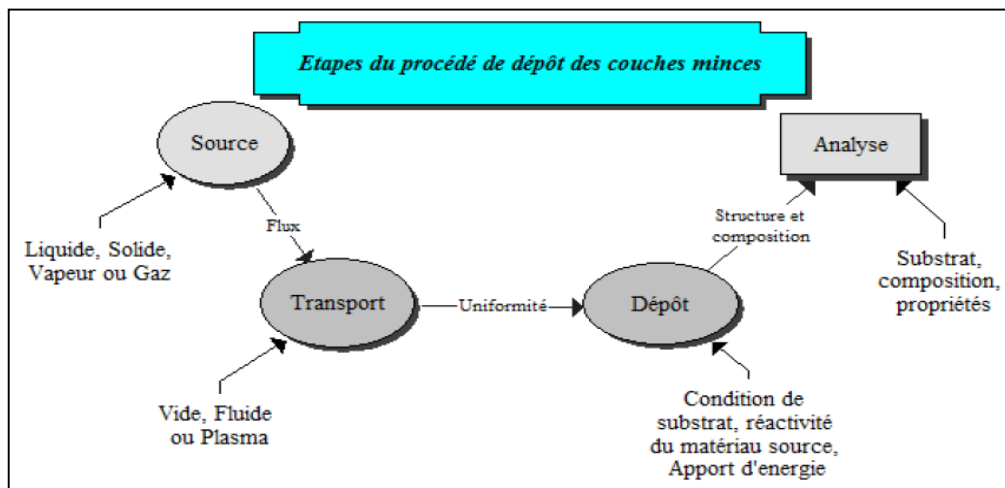


Figure I.1 : les étapes du procédé de fabrication de couches minces.

- **La source** : Qui constitue le matériau de base du film mince à élaborer, il peut être un solide, un liquide, une vapeur ou un gaz.

Lorsque le matériau est solide son transport vers le substrat s'effectue par évaporation. Ce qui peut être réalisé par évaporation thermique, canon à électrons, ablation laser ou par des ions positifs "pulvérisation". L'ensemble de ces méthodes est classé sous le nom de dépôt physique en phase vapeur PVD.

La source solide est occasionnellement transformée en vapeur par voie chimique. Dans d'autres cas, le matériau de base est sous forme d'un gaz ou d'un liquide ayant une pression de vapeur suffisante pour qu'il soit transporté à des températures modérées. Les procédés qui utilisent, comme matériau de base, les gaz, les liquides évaporés ou solides évaporés par voie chimique sont connus sous le nom de dépôts chimiques en phase vapeur CVD. [7]

- **Le transport :** Dans l'étape de transport, l'uniformité du flux des espèces qui arrivent sur la surface du substrat est un élément important, plusieurs facteurs peuvent affecter cette uniformité et dépendent du milieu dans lequel s'effectue le transport, un vide poussé ou un fluide (principalement des gaz).

Dans le cas d'un vide poussé, les molécules, provenant de la source et allant vers le substrat, traversent le milieu en lignes droites, tandis que dans un milieu fluide elles subissent plusieurs collisions au cours de leurs transports.

- **Le dépôt :** La troisième étape dans les procédés d'élaboration des films minces est le dépôt du film sur la surface du substrat. Cette phase passe par les étapes de nucléation et de coalescence.

Le comportement de déposition est déterminé par les facteurs source, transport et aussi par les trois principales conditions de la surface du substrat :

- L'état de surface : Rugosité, niveau de contamination, potentiel chimique avec le matériau qui arrive.
- La réactivité du matériau arrivant sur cette surface : Coefficient de collage, l'énergie déposée sur la surface.
- Température de substrat : Photons, ions positifs.

- **L'analyse :** La dernière étape dans le processus de fabrication est l'analyse du film obtenu. Le premier niveau de contrôle du matériau consiste à effectuer des mesures directes de ses propriétés importantes. Si les résultats de l'analyse sont insuffisants, il est indispensable de recourir à des expériences particulières qui permettent de lever les éventuelles ambiguïtés d'un processus donné [7].

I.1.5 Les différents types de substrat :

Les substrats sont en silicium, en céramique..., sur lesquels on dépose successivement les couches conductrices, résistives ou diélectriques. Différentes techniques sont employées pour réaliser ces dépôts, elles sont détaillées par la suite.

Les substrats doivent posséder :

- un coefficient de dilatation choisi en fonction de l'utilisation du circuit.
- un état de surface parfait.
- une résistivité très élevée.

Le choix est fait en fonction de leur destination :

- l'or, le cuivre : pour les connexions.
- l'oxyde d'étain : pour les résistances.
- le verre, la silice : pour les diélectriques.
- le silicium : pour les couches semi-conductrices.

I.2 Quelques méthodes de dépôt de couches minces :

Pour un matériau donné, il peut exister plusieurs méthodes valables pour le déposer, et le choix parmi celles-ci peut dépendre des problèmes de compatibilité, par exemple la possibilité de chauffer ou non le substrat, la nature des couches sous-jacentes déjà déposées, ainsi que des coûts de dépôt et des performances souhaitées.

On distingue deux grandes catégories de méthodes d'élaboration de couches minces :

- Les méthodes physiques, telles la pulvérisation ou l'évaporation, qui sont en général utilisées en recherche scientifique.
- les méthodes chimiques et électrochimiques, qui sont utilisées industriellement grâce à leur meilleur rendement (vitesse de dépôt plus grande...).

La classification des méthodes est présentée sur le schéma de la figure I.2 :

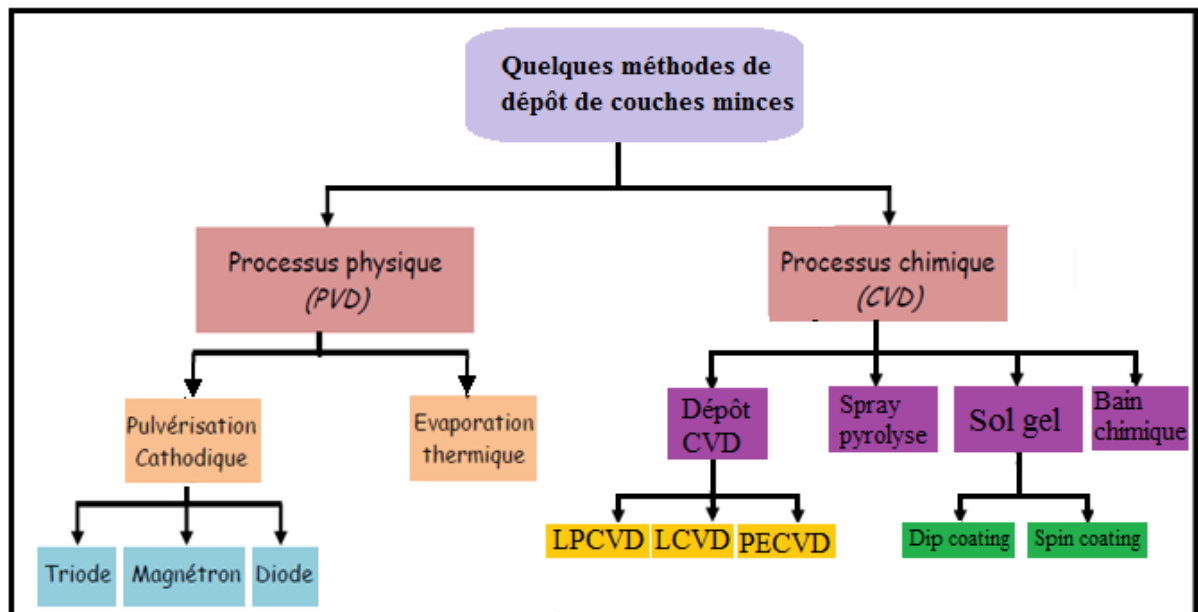


Figure I.2 : Quelques méthodes de dépôt de couches minces.

I.2.1 Processus physique (PVD) :

Le dépôt en phase vapeur physique (PVD), présente beaucoup d'avantages par rapport au dépôt en phase vapeur chimique (CVD), par exemple les films sont denses, le processus est facile à contrôler et il n'y a pas de pollution.

I.2.1.1 Evaporation thermique : Cette technique est très simple et consiste à chauffer par effet Joule un matériau qui est vaporisé, va être déposé sur les substrats. La charge du matériau à déposer est placée dans un creuset (en tungstène). Cette technique est applicable notamment pour le dépôt d'aluminium, la température d'évaporation de ce métal étant inférieure à la température de fusion du creuset.

Afin d'améliorer l'homogénéité des couches déposées, on déplace en permanence les substrats.

I.2.1.2 Pulvérisation cathodique : C'est un phénomène d'éjection des particules à partir de la surface d'un matériau, lorsque celui-ci est bombardé par un flux de particules énergétiques. Ces particules sont généralement les ions d'argon Ar^+ du plasma, accélérés dans le champ électrique de la cible, portée à une tension négative par rapport à celle du plasma. Les particules pulvérisées sont en général électriquement neutres. Elles sont diffusées dans toute l'enceinte. Un certain nombre d'entre elles sont recueillies sur un support appelé substrat, placé en face de la cible, et sur lequel elles forment une couche mince. Donc le plasma, appelé aussi la décharge luminescente, est la base de la pulvérisation cathodique [6].

I.2.2 processus chimique (CVD) :

I.2.2.1 Dépôt en phase vapeur chimique CVD : Est une méthode dans laquelle les constituants d'une phase gazeuse réagissent pour former un film solide déposé sur un substrat. Les composés volatils du matériau à déposer sont éventuellement dilués dans un gaz porteur et introduits dans une enceinte où sont placés les substrats. Le film est obtenu par réaction chimique entre la phase vapeur et le substrat chauffé.

Le CVD est un domaine interdisciplinaire, il comprend un ensemble de réactions chimiques, un processus thermodynamique et cinétique, un phénomène de transport. La réaction chimique est au centre de ces disciplines, elle détermine la nature, le type et les espèces présentes [8]. Elle est particulièrement utilisée pour les "revêtements durs" de pièces et outillages en acier ou carbure, pour augmenter la résistance à l'usure abrasive et adhésive, en réduisant le coefficient de frottement [9].

- **Dépôt PECVD** : La réaction chimique peut être activée à l'aide d'un plasma .Ce dépôt est fondé sur la création d'espèces ou d'éléments à déposer à basse température grâce à l'apport d'énergie sous forme électromagnétique [6].

Afin d'améliorer la qualité du matériau des couches déposées, il est nécessaire de chauffer "légèrement" les substrats quelques centaines de degrés éventuellement [10].

- **Dépôt CVD à radiation laser (LCVD)** : L'énergie de la radiation laser est utilisée soit pour activer (ou casser) les espèces gazeuses (photolyse), soit pour chauffer le substrat afin de promouvoir la réaction de surface. Il est possible de restreindre la surface chauffée à des lignes submicroniques sur lesquelles seulement le dépôt aura lieu [6].

- **Dépôt à basse pression (LPCVD)** : Cette technique consiste à réaliser un dépôt chimique en phase vapeur à basse pression. Ce dépôt s'effectue normalement dans un four à mur chaud à des températures de l'ordre de 500 à 600°C. On injecte les gaz qui réagissent et qui synthétisent le matériau à déposer. Pour ce type de dépôts les paramètres les plus importants sont la pression, la température et le type de gaz dopant utilisé. De ces paramètres, dépendent la morphologie du matériau qui conditionne aussi les propriétés électriques [6], [9].

I.2.2.2 Dépôt par spray pyrolyse : C'est une technique de dépôt utilisée pour préparer les films minces et épais. A la différence de beaucoup d'autres techniques de dépôt de film, le spray pyrolyse représente une méthode très simple, et n'exige pas de produits chimiques de haute qualité. Le dépôt se traduit par la pulvérisation d'une solution d'un sel de métal sur un substrat chauffé. Les gouttelettes arrivant sur le substrat conduisent à la formation d'un dépôt après décomposition et réaction chimique en surface [1].

I.2.2.3 Dépôt par bain chimique (CBD) : Cette technique se rapporte au dépôt des films sur un substrat solide par une réaction produite dans une solution aqueuse. Le dépôt par bain chimique peut se produire de deux façons selon le mécanisme de dépôt : par nucléation homogène en solution ou par hétéro nucléation sur un substrat. L'énergie exigée pour former une interface entre les particules et le substrat solide est souvent inférieure à celle exigée pour la nucléation homogène. La nucléation hétérogène est donc énergétiquement préférée à la nucléation homogène [6].

I.2.2.4 Méthode Sol Gel " solution-gélification " : C'est une technique à base d'une solution en phase liquide, elle se transforme en un solide par un ensemble de réactions chimiques à température ambiante.

Le processus sol-gel comprend trois étapes :

- Préparation de la solution de déposition.
- Formation des couches minces par la méthode de trempage ou bien par la méthode de tournette.
- Traitement thermique.

- **La méthode de trempage "Dip-coating"** : Le principe est de plonger le substrat dans une solution contenant le précurseur. Après chaque trempage, le substrat est séché et recuit sous air ou sous atmosphère d'oxygène, ces deux opérations (trempage et recuit) sont répétées plusieurs fois afin d'obtenir des couches épaisses [11].

Le principe de cette méthode de dépôt est présenté dans la figure I.3 :

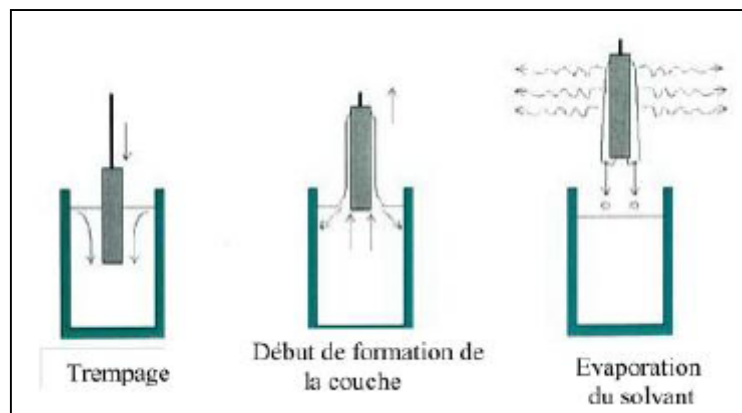


Figure I.3: Schéma représentant le principe de préparation de film mince par La méthode de trempage [11].

- **La méthode de tournette "Spin coating"** : C'est une méthode de dépôt par centrifugation. Le matériau est déposé sur un substrat à l'aide d'une pipette ou seringue, le substrat étant fixe sur un plateau par un dispositif d'aspiration ou fixation.

La mise en rotation permet au matériau de se répartir uniformément sur toute la surface du substrat grâce à la force centrifuge.

Le principe de cette méthode de dépôt est présenté dans la figure I.4 :

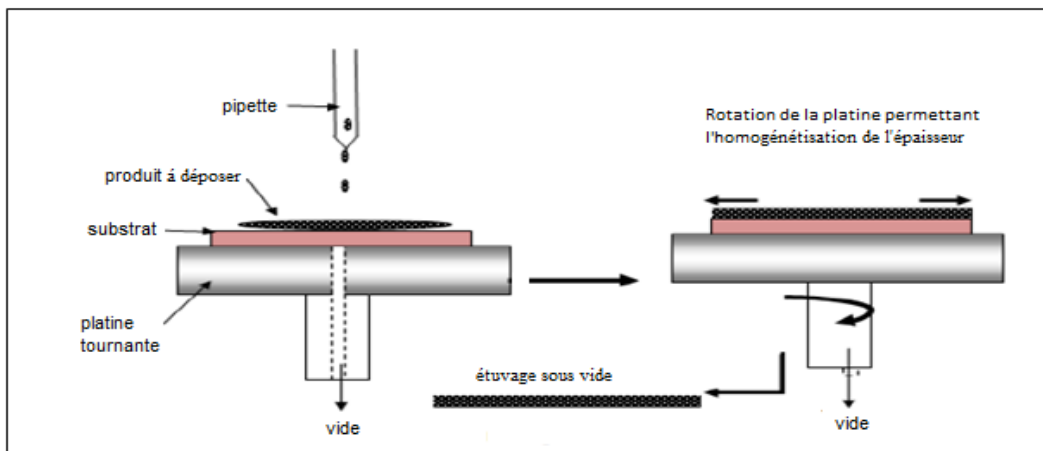


Figure I.4 : Schéma représentant le principe de préparation de film mince par La méthode de tournette.

I.3 Méthodes de caractérisation de couches minces :

Une fois les dépôts réalisés, il est indispensable de les caractériser afin de connaître Certaines propriétés des couches : leur morphologie, leur composition, leur structures ainsi que leur propriétés électrochimiques...

Un des problèmes est d'estimer l'épaisseur de la couche mince. Si elle laisse passer la lumière, on peut utiliser des méthodes interférométriques (franges d'interférence entre les rayons réfléchis sur la surface de la couche et ceux réfléchis à l'interface couche mince-substrat), on peut alors utiliser les rayons X :

- par diffractométrie de rayons X :
 - méthode dite de " réflectométrie ", similaire aux interférences des ondes lumineuses, on voit des oscillations du signal lorsque l'on déplace le détecteur.
 - méthode par incidence rasante : on fait balayer le détecteur autour d'un pic caractéristique du substrat (si celui-ci est cristallisé), pour une incidence des rayons X donnée, on augmente l'incidence, et lorsque l'on voit apparaître le pic, on estime alors l'épaisseur de la couche.
- par spectrométrie de fluorescence X : soit on mesure l'absorption d'une raie émise par le

substrat, soit on mesure l'intensité d'une raie émise par la couche mince ; cette méthode peut aussi permettre de déterminer la composition chimique de la couche.

Pour avoir des informations sur la texture de la couche mince en surface, on peut utiliser la microscopie électronique à balayage (MEB). Cette technique permet d'avoir des images de la surface et de profil. On obtient ainsi l'épaisseur mais aussi des renseignements sur la microstructure. Toutes les autres propriétés physiques de la couche peuvent être utilisées : résistance, masse,... [6][12].

Il y'a d'autre méthode de caractérisation a part celle citées précédemment, alors le choix ce fait selon l'étude et l'application voulue.

I.4 Méthode choisie pour le dépôt des films : Spin-coating :

Le substrat peut être recouvert par le gel de plusieurs façons dans la technique de dépôt Sol Gel : par trempage puis tirage de l'échantillon dans la solution (dip-coating) ou par centrifugation (spin-coating).

Les deux méthodes sont schématisées ci-dessous:

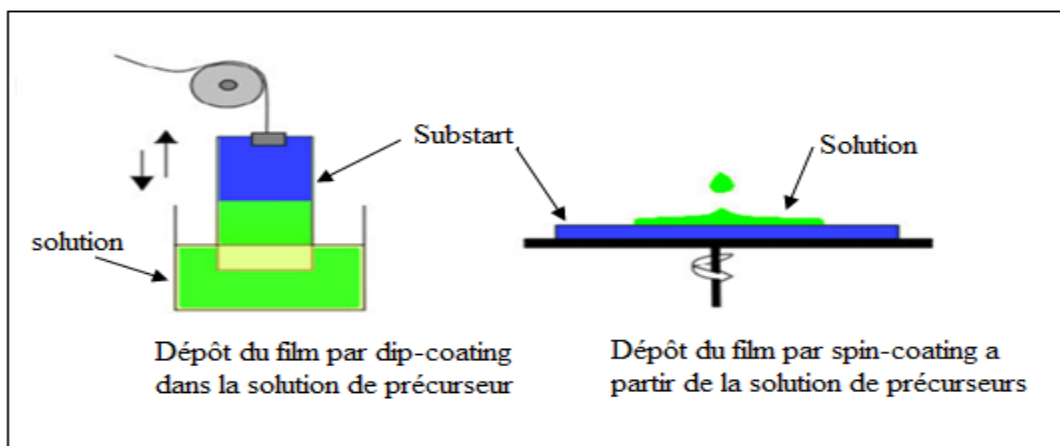


Figure I.5 : Représentation schématique d'appareillages de dépôt par dip-coating et spin-coating [13].

La technique Spin-coating est connue pour ses nombreux avantages (homogénéité, faible contraintes technologiques, température basse ...).

I.4.1 Définition de la technique spin-coating:

L'enduction centrifuge «spin-coating», est une technique de déposition de couche mince et uniforme sur la surface plane d'un substrat. Les principales applications de spin coating sont en microélectronique. La machine utilisée pour cette opération est appelée « *spin-coater* ». L'avantage de cette méthode de mise en œuvre est l'obtention de films homogènes déposés sur différents types de substrats plats : verre, silicium, ... [14], [15].

Le travail à effectuer consiste à faire une conception et réalisation d'un spin-coater proposé par le *Laboratoire de Recherche Chimie Appliquée & Génie Chimique* de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, mais avant de passer à sa réalisation pratique, on doit faire une étude détaillée de cette technique et de l'appareil utilisé pour le dépôt de couches minces.

La figure ci-dessous représente un schéma simplifié de ce procédé :

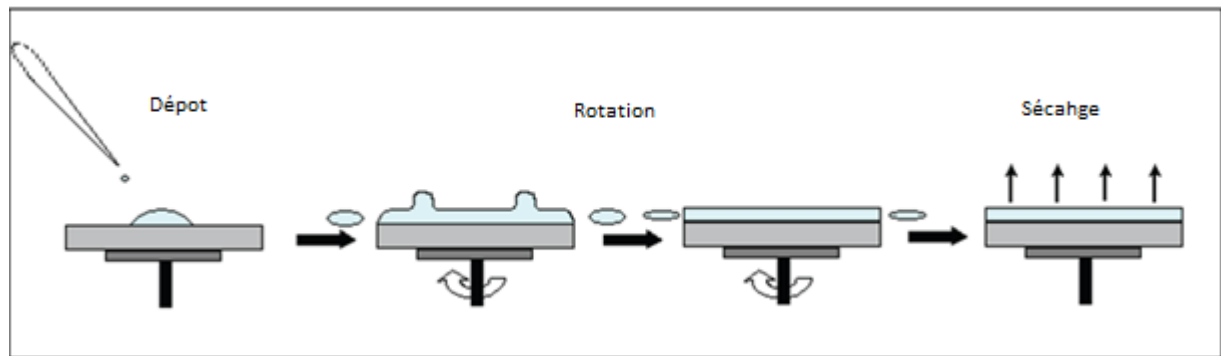


Figure I.6 : Schéma simplifié du procédé d'enduction centrifuge (*spin-coating*).

I.4.2 Application de la technique spin-coating:

La technique d'enduction centrifuge est particulièrement utilisée en micro fabrication, afin de créer des couches d'une épaisseur inférieure à 10 nm [16]. Elle sert tout particulièrement dans le processus de photolithographie à déposer la couche de résine photosensible sur un wafer de semi-conducteur, avec une épaisseur d'environ 1 μm .

I.4.3 Les étapes d'élaboration des couches minces par Spin-coating :

Cette technique est réalisée généralement en quatre étapes principales (figure I. 7).

- **1^{ère}étape** : *dépôt de la solution sur le substrat.*

Cette étape consiste à déposer la solution au centre du substrat, ce dernier peut être immobile ou entraîné dans une rotation adéquate dans le but d'étaler le produit sur la surface du substrat. Habituellement, la quantité déposée sur le substrat est de quelques gouttes, l'utilisation d'un micro-filtre s'avère parfois nécessaire afin d'éliminer les particules qui sont précipitées dans la solution, et qui pourraient entraîner des défauts dans la couche déposée.

Il est important dans cette étape de s'assurer que la quantité de sol déposée est suffisante pour recouvrir toute la surface du substrat, et par la suite éviter la présence des zones non recouvertes en matière [16], [17].

- **2^{ème}étape** : *rotation accélérée du substrat (Spin –up).*

La seconde étape consiste à accélérer le substrat dans son mouvement de rotation (début de la rotation) jusqu'à sa vitesse de rotation finale désirée (typiquement entre 300 et 4000 tr/min). Cette étape est caractérisée par l'expulsion de la solution de la surface vers l'extérieur par le mouvement de rotation.

Au début, la solution s'étale lentement puis la force centrifuge générée par la rotation du substrat conduit le liquide à s'étaler radialement vers l'extérieur et à recouvrir la totalité du substrat.

Lorsque le substrat atteint sa vitesse finale désirée, la couche devient très mince et les forces de viscosité équilibrent parfaitement les forces centrifuges [16], [17].

- **3^{ème}étape** : *rotation à vitesse constante (Spin- Off)*

Dans la troisième étape, le substrat tourne à une vitesse constante (phase uniforme) et les forces visqueuses de la solution dominent le comportement d'amincissement de la couche liquide qui se fait graduellement (l'éjection de l'excès de liquide sous forme de gouttelettes). Le film liquide s'homogénéise en épaisseur et l'excès de liquide est évacué du substrat par la force centrifuge.

En effet, les forces centrifuges agissent sur l'écoulement de la solution en amincissant celle-ci jusqu'au point où suffisamment de solvant est évaporé et la viscosité augmente à un niveau où l'écoulement cesse. L'étape « spin- off » prend place après environ quelques secondes de l'étape « spin-up » [16], [17].

- **4^{ème} étape: Evaporation.**

Dans cette dernière étape, le substrat tourne à vitesse décroissante (phase décélérée), et l'évaporation des solvants domine le comportement d'amincissement de la couche. L'évaporation du solvant active les réactions d'hydrolyse et de condensation menant à la formation d'un film gélifié. A ce stade, la solution est gelée sur place et l'effet de la viscosité sur l'écoulement de la solution devient négligeable.

Il est clair que les étapes 3 et 4 décrivent deux processus qui doivent se produire simultanément (écoulement visqueux et évaporation). L'évaporation peut déjà prendre place en partie lors de ces deux derniers étapes [16], [17].

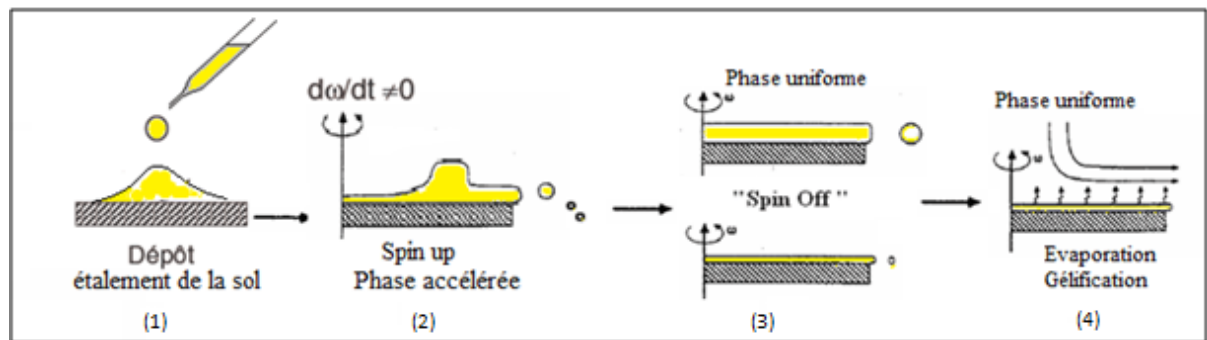


Figure I.7 : les quatre étapes du dépôt de couches minces par spin coating
(ω représente la vitesse de rotation du substrat).

Une fois le mouvement de rotation est arrêté, l'utilisation des couches ainsi élaborées nécessite un traitement thermique afin d'obtenir la phase désirée [16], [17].

I.4.4 Traitement thermique des couches déposées :

Après dépôt, un traitement thermique est effectué. Il a deux fonctions essentielles :

- *un premier séchage à température très basse* : permet d'éliminer le solvant.
- *une deuxième phase de recuit à plus haute température* : permet de renforcer le réseau d'oxyde [17].

I.4.5 Contrôle de l'épaisseur de la couche mince :

L'épaisseur de la couche déposée dépend de plusieurs facteurs, facteurs liés au spinner (L'augmentation de la vitesse angulaire, l'accélération et le temps de l'opération diminuent l'épaisseur de la couche) et facteurs liés au composé déposé (la quantité de solution déposée en général une ou quelques gouttes, la concentration des espèces dans le/les solvant(s), la masse molaire, la viscosité et la volatilité des solvants).

I.4.6 Avantages de la méthode spin-coating :

Les avantages de cette méthode est l'obtention de films homogènes déposés sur différents types de substrats plats : verre, silicium... Pour réussir le dépôt, il faut que :

- Le substrat soit fixé sur un plateau ayant la possibilité de tourner sur un axe.
- Le dépôt de la solution soit rapide afin d'éviter les bulles d'air.
- La solution doit couvrir toute la surface du substrat.
- Le matériau soit 100% dilué sinon l'utilisation d'un filtre est indispensable.

Cette technique de dépôt présente des avantages et quelques inconvénients :

Avantages :

- Faible coût du matériel utilisé.
- Possibilité de dépôt sur grande surface et de forme complexe.
- Facile à mettre en œuvre.
- La solution initiale réalisée est Pure et homogène.
- Température peu élevée.
- Les films obtenus sont homogènes.
- Contrôle de l'épaisseur du film mince

Inconvénients :

- Le matériau doit être en solution.
- Structures à plusieurs couches difficiles à réaliser.
- Stockage (dégradation et altération).

Chapitre II :

*L'oxyde de Zinc, propriétés,
applications et élaborations des
couches minces.*

Introduction :

Ce chapitre est consacré à une description générale de l'oxyde de zinc.

Dans la première partie, nous nous intéressons à son Intérêt technologique et à ses principales propriétés telles que sa structure cristalline, ses caractéristiques électriques, optiques ou encore piézoélectriques. Puis nous poursuivons en présentant ses domaines d'application. Enfin nous terminerons ce chapitre par la description des différents modes d'élaboration de l'oxyde de zinc en couche mince et leur application dans le domaine médical.

II.1 Définition de l'Oxyde de Zinc :

L'oxyde de zinc est un composé chimique de formule « ZnO » réalisé à partir de zinc et d'oxygène. Cet oxyde se présente généralement sous la forme d'une poudre blanche (Figure II.1) communément appelée « zinc blanc » ou « blanc de zinc » non soluble dans l'eau [13].



Figure II.1 : poudre d'oxyde de zinc [13].

Le ZnO est un matériau abondant sur terre et non toxique, il est également de faible cout contrairement à d'autres matériaux comme l'ITO (oxyde d'indium dopé à l'étain) [18]. Le zinc est recyclable à l'infini sans perte de ses propriétés physiques et chimiques [19].

Ce solide est utilisé dans de nombreuses applications, telle que la fabrication de verres, de céramiques, dans la composition d'aliments et de crèmes solaires... [20]

Le matériau ZnO existe sous forme naturelle, sous le nom de « Zincite », mais peut aussi être synthétisé de manière artificielle sous forme massive (figure. II.2).

C'est un semi-conducteur à large bande interdite directe dont la couleur varie suivant les impuretés qu'il contient [20].

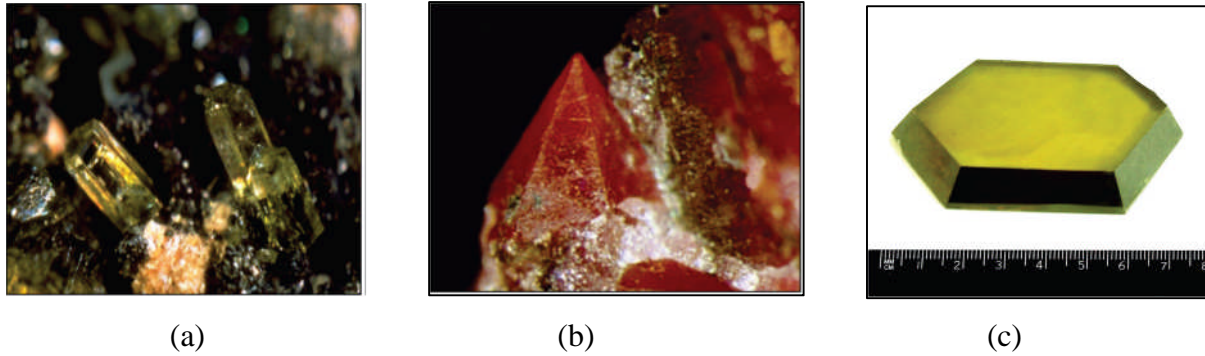


Figure II.2 : Oxyde de Zinc massif sous forme naturelle (a) et (b) et provenant de Synthèse hydrothermal (c) [20].

II.2 Intérêt technologique de l'oxyde de zinc :

L'oxyde de zinc présente un ensemble de propriétés applicable dans différents domaines. La mise en œuvre de technologies de fabrication de couches minces de ZnO a conduit à de nombreuses applications dans des domaines très divers, le domaine des composants électroniques, celui des transducteurs pour capteurs, l'optique, la décoration et la protection des surfaces [21].

On peut considérer que l'oxyde de zinc est un des rares matériaux multifonctionnels que l'on peut trouver aujourd'hui. Nous montrons par la suite les principales applications possibles de l'oxyde de zinc en mettant en avant ses propriétés.

Du point de vue de la chimie, le zinc est un matériau très réducteur et se combine avec l'oxygène et d'autres non-métaux. Il peut aussi réagir avec les éléments ambiants tels que l'humidité, l'oxygène, le dioxyde de carbone [19].

II.3 Propriétés de l'oxyde de zinc :

II.3.1 Propriétés physique de l'oxyde de zinc :

L'oxyde de zinc est un semi-conducteur de largeur de bande 3,3 eV. Il n'absorbe donc pas la lumière visible, ce qui explique sa transparence. L'oxyde de zinc présente un effet piézoélectrique.

Sous forme de poudre, L'oxyde de zinc réfléchit la lumière à la surface de chaque cristal, et le matériau est donc perçu comme blanc. Néanmoins, des lacunes d'oxygène peuvent se former

dans ce matériau, surtout à haute température, ce qui explique que le ZnO vire au jaune lorsqu'il est chauffé. Cet effet est appelé Thermochromie (effet thermochrome) [13].

Différentes propriétés physiques de l'oxyde de zinc à structure hexagonale « Würtzite » sont regroupées dans le tableau ci-dessous [21].

Propriété	Valeur
Paramètres de maille à 300 K :	
a_0	0,32495 nm
c_0	0,52069 nm
c_0/a_0	1,602 (1,633 pour la structure hexagonale idéale)
Masse volumique	5,606 g cm ⁻³
Phase stable à 300 K	Wurtzite
Point de fusion	1975° C
Conductivité thermique	1-1,2 W m ⁻¹ K ⁻¹
Coefficient d'expansion linéaire (/ ° C)	$a_0 : 6,5 \cdot 10^{-6}$, $c_0 : 3,0 \cdot 10^{-6}$
Constante diélectrique statique	8,656
Indice de réfraction	2,008- 2,029
Energie de la bande interdite (gap)	3,4 eV (direct)
Concentration de porteurs intrinsèques	$< 10^6$ cm ⁻³
Energie de liaison des excitons	60 meV
Masse effective de l'électron	0,24
Mobilité Hall de l'électron à 300 K pour une conductivité de type n faible	200 cm ² V ⁻¹ s ⁻¹
Masse effective du trou	0,59
Mobilité Hall du trou à 300 K pour une conductivité de type p faible	5-50 cm ² V ⁻¹ s ⁻¹

Tableau II-1: Propriétés physiques de l'oxyde de zinc sous la forme Wurtzite [21].

II.3.2 Les propriétés cristallographiques :

On connaît actuellement trois phases cristallographiques différentes pour l'oxyde de zinc : la phase B4 (Wurtzite), la phase B3 (Blende) et la phase B1 (Rocksalt).

- La structure hexagonale « Würtzite » : est la structure thermodynamiquement stable à température ambiante.
- La structure cubique « Zinc Blende » : est observée lorsque ZnO est déposé sur Certains substrats de symétrie cubique.

- la structure cubique « *Rocksalt* » : est obtenue lorsqu'une pression hydrostatique est appliquée sur la structure *Würtzite*.

Ces différentes structures sont présentées dans la Figure II.3.

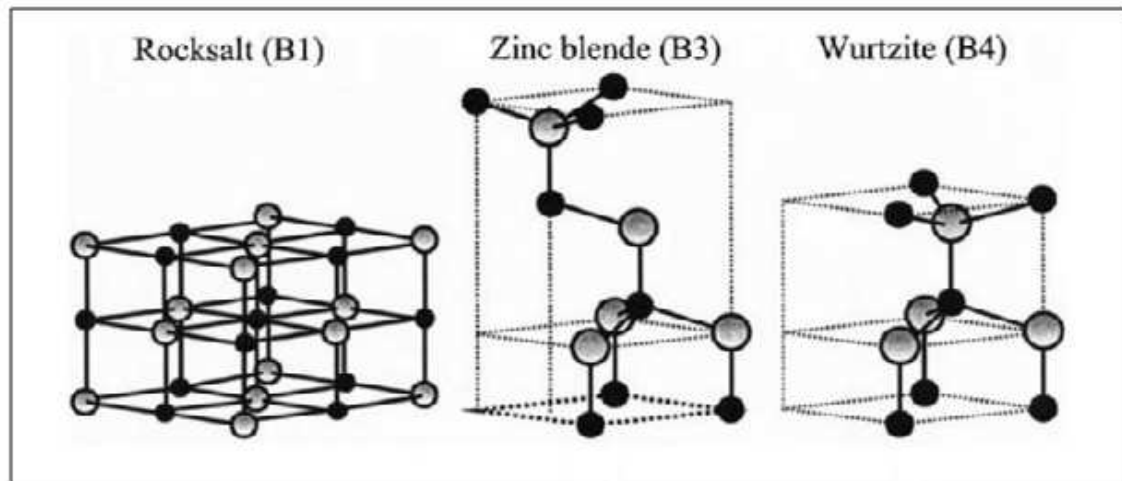


Figure II.3 : Les différentes phases cristallographiques pour l'oxyde de zinc [22].

Chaque atome de zinc est entouré de quatre atomes d'oxygène, les sphères grises représentent les tomes de Zn et les noires ceux d'oxygène .

Dans les conditions standards, la structure « *Würtzite* » est la plus stable thermodynamiquement. Tandis que la « *Zinc Blende* » n'est obtenu que dans le cas de croissance sur substrats cubiques et la structure « *Rocksalt* » n'est obtenue que sous des pressions relativement élevées [22].

La figure II.4 montre la répartition des atomes de Zn et de O pour former la structure cristallographique *Würtzite* de ZnO.

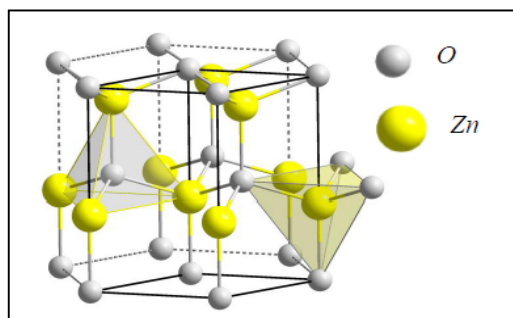


Figure II.4 : Maille primitive de la phase *Würtzite* du ZnO.

La structure *Würtzite* contient deux atomes de zinc par maille. Chaque atome de zinc est entouré de quatre atomes d'oxygène et vice versa ce qui donne une coordinance de 4.

II.3.3 Propriétés électriques du ZnO :

D'une manière générale, l'oxyde de zinc non dopé est considéré comme un semi-conducteur de type *N*. Il est possible de modifier la résistivité électrique de l'oxyde de zinc par dopage, en introduisant des atomes de zinc en excès en position interstitielle, ou en créant des lacunes d'oxygène. Ces interstitiels de zinc et ces lacunes d'oxygène ainsi créés, se comportent comme des donneurs d'électrons, et conduisent à une diminution de la résistivité électrique du matériau [23].

Les taux de dopage obtenus peuvent être très élevés (de l'ordre de 10^{20} atomes/cm³), permettant d'atteindre des résistivités très faibles (de l'ordre de 10^{-4} Ω.cm) [23].

L'oxyde de zinc est un semi-conducteur du groupe A^{II}B^{VI} qui présente une bande interdite d'environ 3,3 eV, Cette énergie appelée également *gap* correspond à celle qui fait passer un électron de la bande de valence (BV) à la bande de conduction (BC) [21]. Ce qui permet de le classer parmi les semi-conducteurs à large bande interdite. Cette valeur peut varier suivant le mode de préparation et le taux de dopage, entre 3,30 eV et 3,39 eV [24], [25].

II.3.4 Propriétés optiques et luminescence du ZnO :

L'oxyde de zinc est un matériau transparent dans le domaine du visible grâce à son large *gap*, dont l'indice de réfraction sous la forme massive est égal à 2 [26]. Ce qui lui permet d'être classé parmi les oxydes transparents conducteurs TCO, lorsqu'il est dopé.

Sous l'action d'un faisceau lumineux de haute énergie ($E > 3.4$ eV) ou d'un bombardement d'électrons, l'oxyde de zinc émet des photons, ce phénomène correspond à la luminescence. En fonction des conditions d'élaboration et des traitements ultérieurs, différentes bandes de photoluminescence ont été observées : elles vont du proche UV (350 nm), au visible (rayonnement de couleur verte de longueur d'onde proche de 550 nm).

Les propriétés optiques du ZnO montrent ainsi un intérêt pour la réalisation de diodes transparentes dans les cellules solaires ou la protection de systèmes électroniques contre les rayons infrarouges [19].

Comme la luminescence dépend du dopage du matériau, on utilise cette propriété dans les dispositifs optoélectroniques comme les écrans à tubes cathodiques, les diodes électroluminescentes, la signalisation ou l'éclairage [27].

II.3.5 Propriétés piézoélectriques du ZnO :

L'oxyde de zinc appartient à la classe des matériaux piézoélectriques [18]. Il présente l'effet piézoélectrique le plus élevé de tous les semi-conducteurs [28].

Cet effet est lié à sa structure cristalline, car comme nous l'avons vu précédemment, les atomes d'oxygène et de zinc forment des tétraèdres non Centro-symétriques ce qui engendre un décalage du centre de charge lors des déformations induites par des forces externes comme les pressions.

Cette polarisation se propage dans tout le cristal du fait de sa périodicité créant ainsi une différence de potentiel à l'intérieur du cristal et il est modulable par l'application d'une contrainte mécanique (effet piézoélectrique direct). Inversement, lorsqu'un champ électrique externe est appliqué au cristal, les ions des mailles élémentaires sont déplacés par des forces électrostatiques, ce qui engendre la déformation mécanique du cristal (effet piézoélectrique inverse) [28], [18].

II.4 Le ZnO en électronique :

Pour l'électronique, ce matériau présente des propriétés électriques et optiques intéressantes. Son importante largeur de bande interdite (3,37 eV) fait de lui un bon candidat pour des applications en optoélectronique comme la réalisation d'électrodes transparentes, de détecteurs ultraviolet ou de diode laser émettant dans le bleu ou l'ultraviolet.

Le ZnO présente également des propriétés photovoltaïques pour la réalisation de cellules solaires ou de photopiles, des propriétés électrochromes pour la fabrication de fenêtres intelligentes (modulation de la transmission de la lumière en fonction du rayonnement incident) et des propriétés optiques pour la réalisation de guides d'ondes.

Ses propriétés piézoélectriques peuvent être utilisées pour les détecteurs mécaniques, dans des dispositifs à onde acoustique, ou dans des dispositifs électroniques tels que les redresseurs, les filtres, ou encore les résonateurs.

L'élaboration de matériaux sous la forme de couches minces présente un intérêt majeur dans des domaines d'applications très variés. Par exemple des couches minces d'oxyde de zinc peuvent servir de capteurs chimiques très sensibles dans des détecteurs de gaz, oxydés ou réduits.

Différents procédés technologiques peuvent être utilisés pour déposer du ZnO en couches minces. On peut noter les méthodes chimiques qui consistent à élaborer la matière par

réaction chimique ou décomposition de molécules, et les méthodes physiques qui consistent à élaborer le film par extraction de la matière provenant d'une cible [19].

II.5 Application de ZnO en poudres:

L'oxyde de zinc est un composé chimique qui se présente généralement sous la forme d'une poudre blanche « *blanc de zinc* » non soluble dans l'eau. Ce solide est utilisé dans de nombreuses applications :

- **Industrie de la céramique et du verre :**

En raison de son indice de réfraction élevé, l'oxyde de zinc est un matériau brut idéal pour la fabrication de verre optique.

La capacité thermique relativement élevée, la conductivité thermique et une grande stabilité de température de ZnO sont des propriétés souhaitables dans la production de céramiques.

- **Pigment :**

L'oxyde de zinc entre dans la composition des formulations aqueuses ou à base de solvant. Blanc de zinc est utilisé en tant que pigment dans les peintures. Il est également utilisé dans les revêtements pour papier. C'est aussi un ingrédient principal de maquillage minéral.

- **Fabrication de caoutchouc :**

L'industrie du caoutchouc est la plus grosse consommatrice d'oxyde de zinc, il aide à protéger les caoutchoucs et les plastiques contre les effets dommageables des rayons UV et les champignons.

- **Additif alimentaire et engrais agricoles :**

L'oxyde de zinc est ajouté à de nombreux produits alimentaires, y compris les céréales pour petit déjeuner. Les aliments pour animaux contiennent de l'oxyde de zinc, un micronutriment essentiel qui favorise la bonne croissance des animaux.

L'oxyde de zinc entre dans la fabrication des engrais. Il a été démontré que les suppléments de zinc augmentent le rendement des cultures et jouent un rôle dans l'activation des enzymes de croissance des plantes.

- **Spécialités chimiques :**

L'oxyde de zinc entre dans la fabrication de matériaux anticorrosion.

- **Médecine :**

L'oxyde de zinc est largement utilisé pour traiter une variété d'affections de la peau, dans des produits tels que la poudre de bébé et des crèmes protectrices, shampoings antipelliculaires, et pommades antiseptiques. L'oxyde de zinc peut être utilisé dans des pommades, des crèmes, des lotions et pour se protéger contre les coups de soleil [28].

II.6 Applications de ZnO en couches minces:

Il existe de nombreuses applications faisant appel au ZnO dans de nombreux domaines, parmi lesquelles son utilisation sous forme de couches minces, cela est devenu fréquent dans le domaine technologique, Que ce soit en électronique, en Photovoltaïque, et en optoélectronique, en chimie, ou en mécanique [29]. Dans ce qui suit nous citons quelques-unes de ces applications :

II.6.1 Applications en électronique :

- **Capteur de gaz :** La détection de gaz est devenue un outil très important aussi bien Dans l'industrie que dans la vie quotidienne. Le ZnO est un semiconducteur dont la conductivité dépend fortement de la nature du gaz environnant. Ainsi la présence d'un gaz réducteur (CO, hydrocarbures, H₂...) va engendrer une augmentation de la conductivité de la couche de ZnO alors que la présence d'un gaz oxydant se traduira par un comportement inverse.

Des capteurs de gaz à base de l'oxyde de zinc ont été utilisés pour la détection du dioxyde d'azote (NO₂), du monoxyde de carbone (CO) [27].

- **Capteur piézoélectrique :** En raison de leurs propriétés piézo-électriques, les couches minces de ZnO sont utilisées comme détecteur de pression. La piézoélectricité est un processus physique réversible et on distingue : L'effet piézoélectrique direct où sous l'action d'une déformation mécanique le matériau voit sa polarisation électrique variée. Ainsi, en appliquant une force sur les faces d'une lame piézoélectrique, il apparaît une d.d.p proportionnelle à la force appliquée. Ceci, permet de mesurer des grandeurs physiques telles que : L'accélération, la pression...etc. On a alors un capteur piézoélectrique. L'effet piézoélectrique inverse est obtenu lorsqu'on applique un champ électrique sur le solide celui-ci se déforme [27], [28].

- **Diodes électroluminescentes :** le principe de la diode électroluminescente (LED)

consiste à convertir l'énergie électrique en énergie lumineuse. LED est une jonction de semi-conducteur p-n. l'oxyde de zinc trouve également sa place dans la réalisation de diode électroluminescente émettant en particulier dans le bleu [28].

- **Varistance** : La varistance est un composant dont la résistance varie avec la tension appliquée. Elle est utilisée pour la protection contre les surtensions.

II.6.2 Application en photovoltaïque :

- **Cellules solaires** : Les cellules solaires sont des systèmes constitués de matériaux semi-conducteurs qui possèdent la faculté de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. Cette transformation est due à l'effet photovoltaïque du matériau utilisé qui permet de capter l'énergie des photons reçus pour libérer des porteurs de charge de la bande de valence à la bande de conduction [19].

- **TCO** : le ZnO peut être dopé avec de forte concentration et on peut obtenir des conductivités électriques importantes de l'ordre de $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^{-1}$. Ces propriétés de transparence à la lumière visible et de bonne conductivité électrique sont très intéressantes pour les applications nécessitant des électrodes transparentes. L'oxyde de zinc est aussi envisagé comme matériau support dans les cellules solaires. En utilisant une surface nano structurée de ZnO comme support, on peut envisager d'augmenter la surface effective de la cellule et d'en améliorer le rendement [27].

II.6.3 Applications en médical :

- **Biocapteur** : Biocapteurs combinant un mécanisme de reconnaissance biologique avec une technique de transduction physique sont des capteurs moléculaires. Ils jouent un rôle important dans la vie humaine et le progrès de l'humanité. Avec les excellentes caractéristiques de la technologie électrochimique comme une faible limite de détection, temps de réponse rapide, une bonne stabilité, biocapteurs électrochimiques à base d'enzymes ont gagné le plus d'attention dans les dernières décennies.

En raison de sa biocompatibilité, non-toxicité, activités électrochimiques et des fonctions de communication électriques rapides, ZnO a montré de nouveaux avantages pour la fabrication de biocapteurs enzymatiques.

Par conséquent, les structures du ZnO sont des matériaux prometteurs en application de biocapteurs. Citons à titre d'exemple, les biocapteurs de glucose qui sont intensément étudiés en raison de leur importance clinique dans le traitement du diabète [27].

II.7 Quelques avantages et défauts du ZnO:

a. Avantages :

- Un effet piézoélectrique élevé ($e^{33} = 1,2 \text{ C/m}^2$) ; le plus élevé de tous les semi-Conducteurs.
- Une conductivité thermique élevée ($\lambda = 0,54 \text{ W/cm}$).
- La plus grande énergie de liaison d'exciton de tous les semi-conducteurs ($E_l = 60 \text{ meV}$ à 550 K).
- Une mobilité μ de dérive qui se sature à des champs plus élevés que GaN (attrayant pour les dispositifs à hautes fréquences).
- Un Module de cisaillement très élevé ($\sim 45.5 \text{ GPa}$), ce qui indique la stabilité du Cristal (exemple : $18,35 \text{ GPa}$ pour ZnSe, $32,6 \text{ GPa}$ pour GaAs et $51,37 \text{ GPa}$ pour Si).
- l'oxyde de zinc utilisé est produit industriellement dans des grandes usines-[13].

b. Défauts :

Les défauts présents dans le ZnO dépendent de la méthode de croissance et des conditions d'élaboration de ce matériau. On pourra énumérer les défauts suivants:

- défauts ponctuels (interstitiels, lacunes, atomes étrangers).
- défauts linéaires (dislocations et sous joint de grains).
- défauts plans (macles, joints de grains).
- Il existe d'autres types de défauts d'ordre thermique (Phonon) ou électrique (électrons, trous,...) [18].

II.8 Exemple d'application des couches minces obtenues dans le domaine médical [30], [31], [32] :

Les biocapteurs occupent une place de plus en plus importante dans les milieux médicaux. C'est l'un des éléments clés qui permettent aux médecins de diagnostiquer une maladie ou de surveiller l'évolution de la maladie d'un patient.

Les biocapteurs ont pour objectif de détecter précocement des marqueurs caractéristiques de maladies afin de favoriser la prise en charge du patient. Les progrès accomplis dans le domaine des biocapteurs permettent maintenant l'utilisation de dispositifs implantables. Il devient alors possible de suivre en temps réel la concentration d'une molécule en un point donné de l'organisme.

Les étapes de réalisation d'un biocapteur sont illustrées dans la figure II.5 :

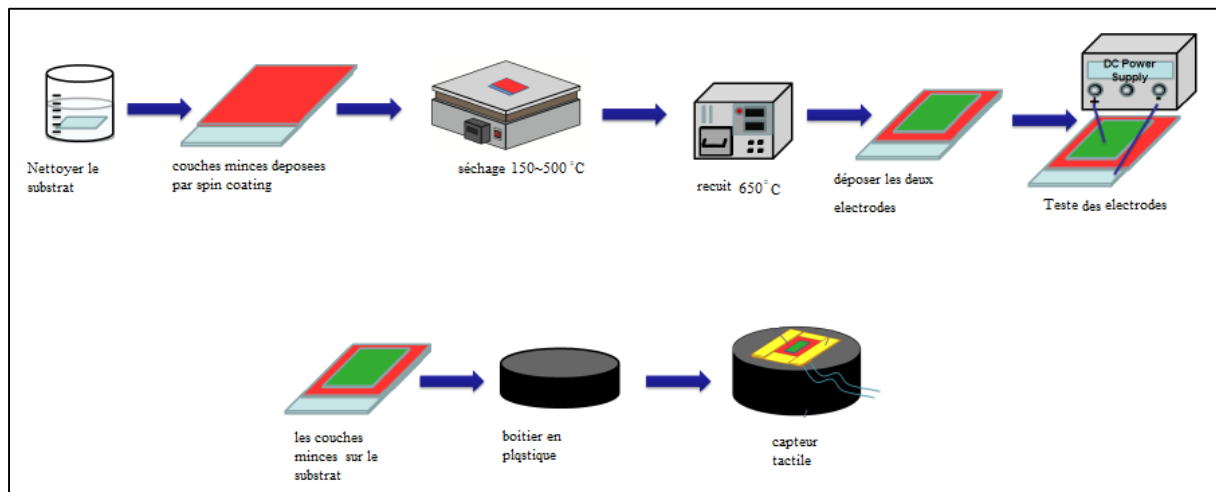


Figure II.5 : *Etapes de réalisations d'un biocapteur [30].*

Ce capteur ainsi réalisé peut être utilisé pour la mesure des différents signaux du corps humain tel la pulsation cardiaque et artérielle, capteur de pouls,...comme le montre le tableau II.1 ci-dessous :

Type de Bio Signal	Type de capteur	Donnée mesurée
ECG	Electrodes de peau/torse	Activité électrique du cœur
Tension (systolique et diastolique)	Oscillomètre	Force exercée par le sang sur les vaisseaux
Taux respiratoire	Capteur Piézoélectrique	Nombre d'inspirations et d'expirations par minute
Saturation en oxygène	Oxymètre de pouls	Taux d'oxygène dans le sang
Pouls	Capteur optique/ Electrodes	Fréquence de battements cardiaques
Glucose sanguin	Biocapteur : glucomètre	Taux de glucose dans le sang
EMG	Electrodes de peau	Activité électrique des muscles
EEG	Electrodes	Activité électrique spontanée du cerveau
Mouvements	Accéléromètre, gyromètre	Forces d'accélération dans l'espace 3D
Température	Thermomètre (technologies multiples)	

Tableau I.1 : Différents signaux du corps humain et leurs capteurs associés.

L'exemple donné par la figure II.6 illustre la mesure de la pulsation artérielle chez l'être humain

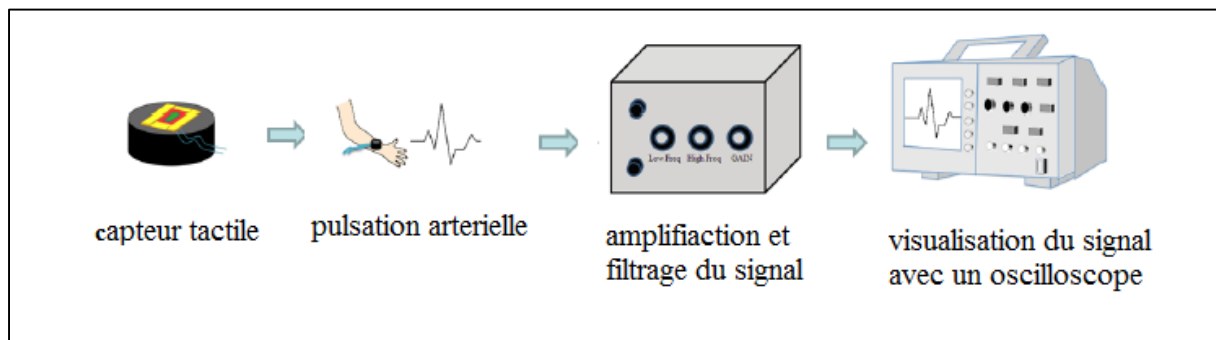


Figure II.6 : mesure de la pulsation artérielle avec un biocapteur [30].

Le capteur est placé sur l'avant-bras comme une montre. Le signal va être capté puis amplifié et filtré pour enlever les signaux parasites. On peut alors visualiser la courbe du signal avec un oscilloscope permettant au médecin de faire un diagnostic.

Chapitre III :
Conception du spin coater

Introduction :

Dans ce chapitre on va présenter les étapes suivies qui nous ont permis de concevoir notre dispositif.

Ce modèle de spin-coater sera utilisé dans le domaine de la microélectronique et de la chimie pour le dépôt de couches minces au niveau du **Laboratoire de Recherche Chimie Appliquée & Génie Chimique** de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

III.1 Présentation du système :

Le système a réalisé est un spin-coater utilisé pour le dépôt de couches minces. Cette méthode consiste à déposer une solution de polymère sur un support soumis à une rotation rapide. L'éjection de l'excès de solution suivie par l'évaporation rapide du solvant permet d'obtenir des couches fines, dont les épaisseurs peuvent être modulées en faisant varier différents paramètres expérimentaux tels que l'accélération, la vitesse de rotation ou la concentration en polymères.

La figure III.1 illustre le système que nous nous proposons de concevoir. Il sera composé principalement des parties suivantes :

- Mécanisme de Pousse seringue, composé d'un servomoteur et d'une seringue.
- Moteur à courant continu et un capteur de vitesse.
- Interfaces d'entrées / sorties, composées d'un clavier matriciel et un afficheur LCD...

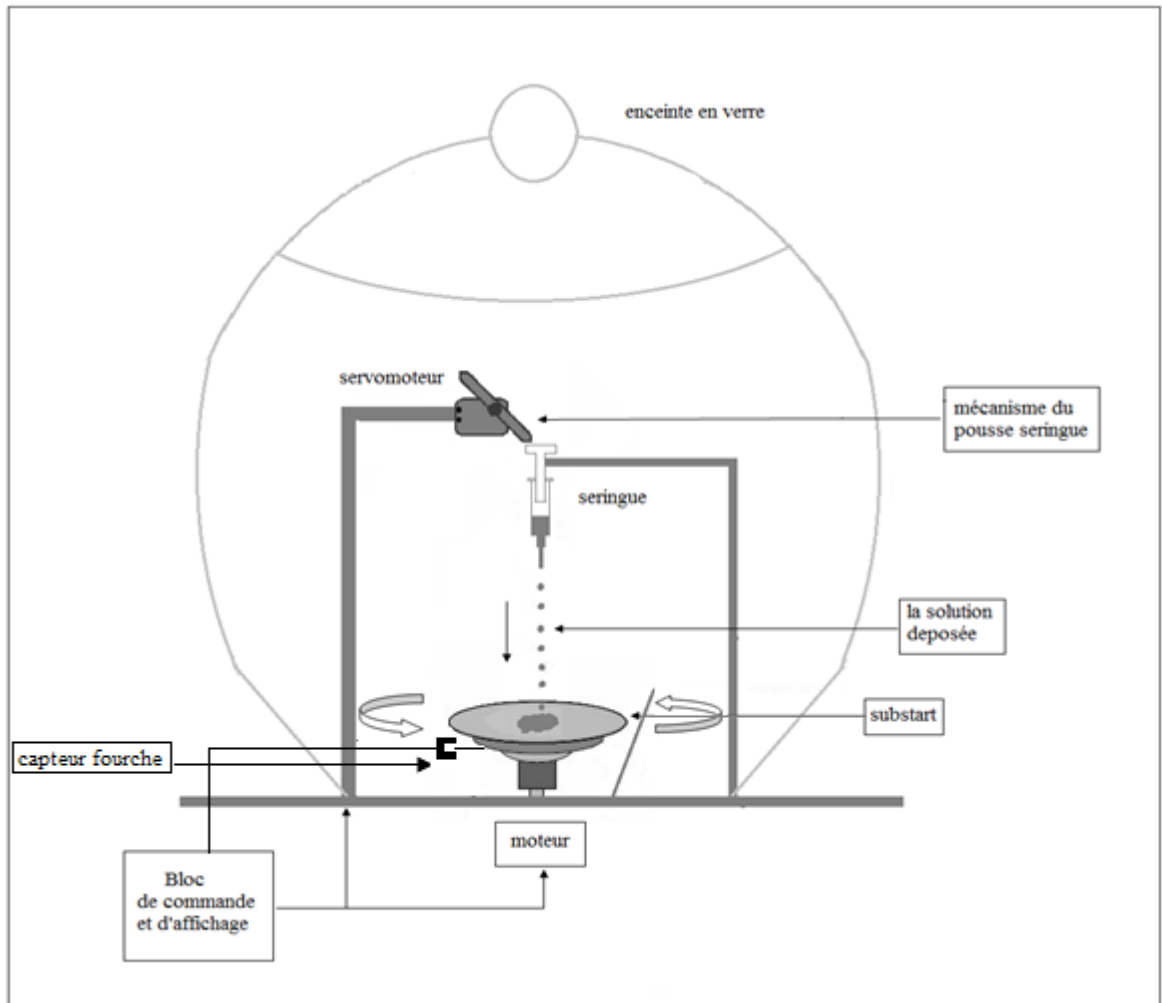


Figure III.1 : Schéma simplifié du dispositif

Le fonctionnement de ce système est basé sur la programmation de la carte *Arduino Uno*, de sorte à gérer les différents périphériques d'entrées/sorties: Afficheur LCD, Clavier...

- **Fonctionnement du système :**

L'enchaînement des étapes de fonctionnement est comme suit, Le mécanisme du pousse seringue est actionné par un servomoteur pour gérer l'écoulement des gouttelettes de la solution à déposer sur le substrat. Ce dernier est fixé sur un moteur à courant continu qui tourne avec une vitesse donnée par l'utilisateur à partir d'un clavier. Cette vitesse est captée par l'optocoupleur fourche puis afficher sur le LCD.

La mise en rotation du substrat permet au matériau déposé de se répartir uniformément sur toute la surface du substrat grâce à la force centrifuge et le surplus de solution est projetée sur les parois de l'enceinte.

III.2 Conception du système :

Le schéma synoptique général de notre dispositif est indiqué par la figure (II.1). Pour faciliter cette étude, on a décomposé le schéma synoptique en quatre blocs :

- Bloc de Puissance.
- Bloc de Commande.
- Interface d'entrées/sorties
- Bloc d'Alimentation.

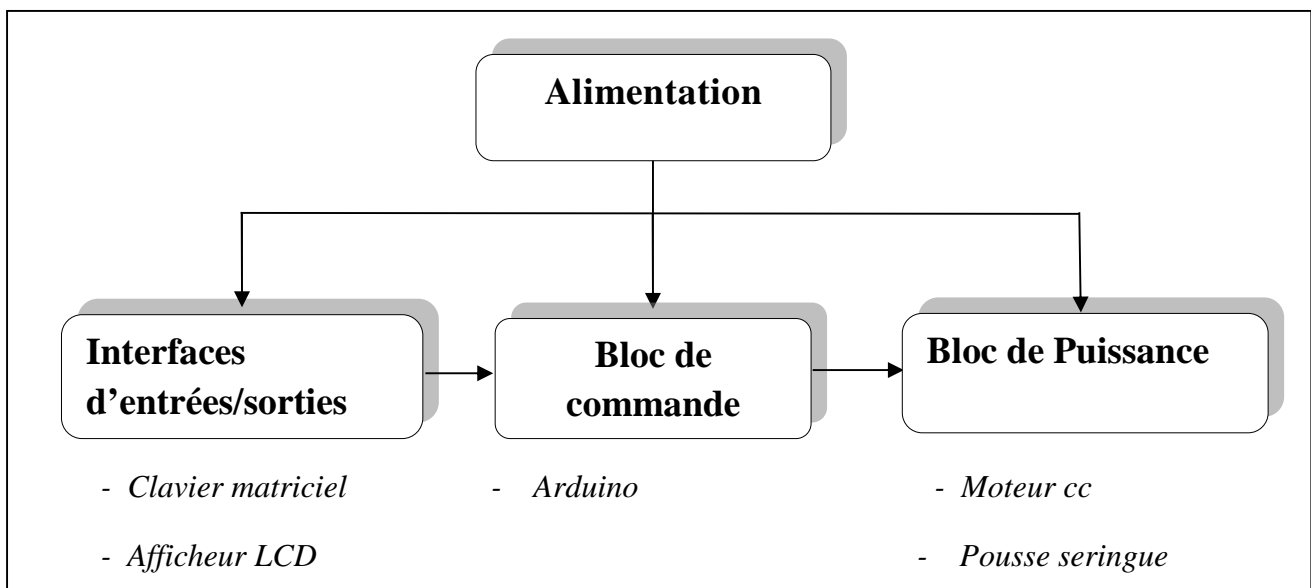


Figure III.2 : Schéma synoptique du dispositif.

III.2.1 Bloc de Puissance :

Ce bloc est décomposé en deux sous blocs :

1. Mécanisme du pousse seringue.

➤ Les signaux de commande pour le servomoteur :

Le servomoteur est commandé à partir de la carte *Arduino Uno* en lui indiquant quel angle doit prendre son axe (entre 0 et 180°), son moteur se met alors en marche jusqu'à ce que la

position soit atteinte. Le pilotage du servomoteur se fera avec la librairie « *Servo.h* » qui est incluse dans l'*IDE* d'Arduino.

La seringue est alors actionnée par le mouvement rotatif du servomoteur et cela en la poussant pour l'écoulement de la solution à déposer.

Le servomoteur est commandé en lui envoyant une impulsion logique à travers la broche PWM à laquelle le servomoteur est branché (~ 3) dont la durée varie entre 1ms et 2ms.

- **PWM :**

La modulation par largeur d'impulsion est une succession de signaux logiques "0" ou "1", donc **0 V** et **5 V** dans le cas de l'Arduino.

- **Le rapport cyclique :** est un coefficient qui varie entre **0** et **1** logique.

- Pour 1.5ms avec : $T=20\text{ms} \Rightarrow$ le rapport cyclique : $1.5/20$
- Pour 1ms avec : $T=20\text{ms} \Rightarrow$ le rapport cyclique : $1/20$
- Pour 2ms avec : $T=20\text{ms} \Rightarrow$ le rapport cyclique : $2/20$

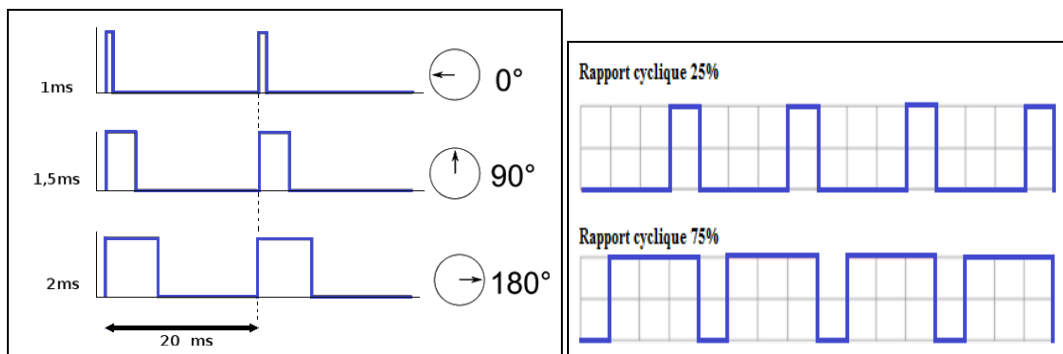


Figure III.3 : *Le rapport cyclique et le calcul d'angle.*

- Lorsque le rapport cyclique est de **0%**, le signal est toujours à **0 V**.
- Lorsque le rapport cyclique est de **100%**, le signal est toujours à **5 V**.
- Si le rapport cyclique est de **25%**, le signal est haut pendant **25%** du temps, et bas pendant les **75%** restants.

Pour commander un servomoteur on doit créer un signal carré. On doit alors fixer la fréquence et varier le rapport cyclique. Et Pour exploiter toute la puissance d'un servomoteur il est nécessaire de renvoyer la commande toutes les 20ms maximum, Comme le montre la figure ci-dessous.

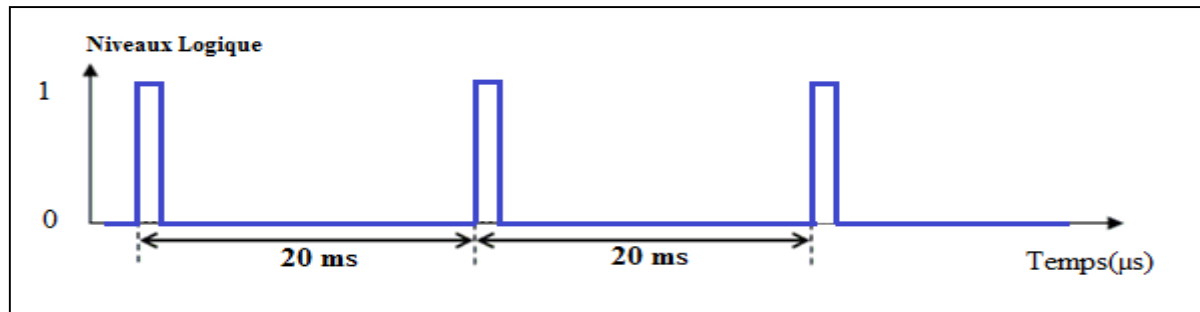


Figure III.4: Durée des impulsions nécessaire pour la commande.

2. Asservissement du moteur :

La figure III.5 montre le branchement qu'on a effectué, pour asservir le moteur.

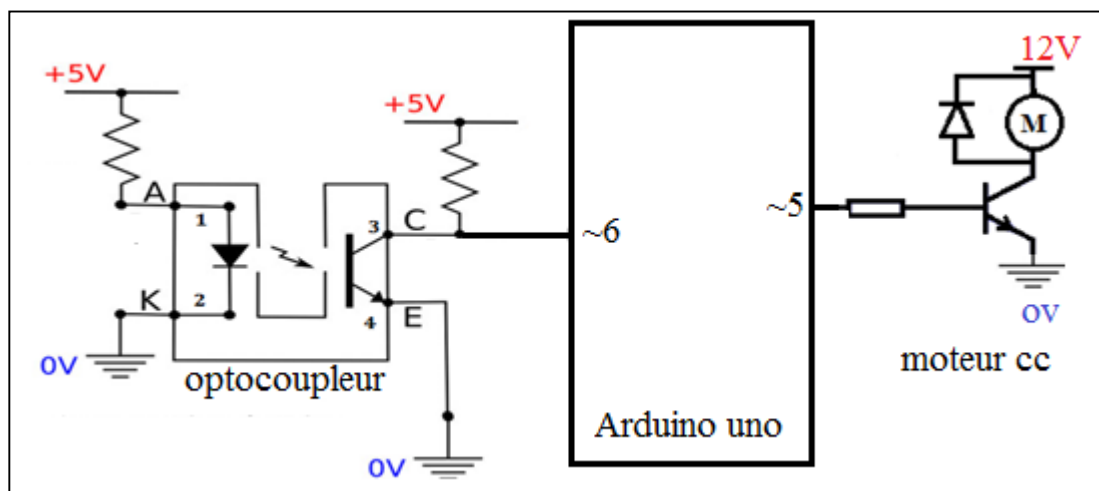


Figure III.5 : Asservissement du moteur

Le moteur utilisé pour le dispositif à réaliser est un moteur à courant continu, l'intérêt de ces moteurs réside dans leurs souplesses de fonctionnement et la simplicité de leurs commandes. La tension d'alimentation du moteur peut être différente, est dans notre cas, Il est alimenté en utilisant comme source d'énergie une source continue (pile) de 12v.

On a placé une diode de roue libre en parallèle avec le moteur pour éliminer la surtension qui apparaît dans une bobine lors de l'allumage et de l'extinction. Et aussi d'évacuer le courant créer lorsque le moteur ralentie lorsqu'il n'est plus alimenter.

Pour piloter le moteur on utilise un transistor Darlington, qui est relié à la broche PWM (~5) de la carte Arduino. On envoie alors un signal dont la fréquence varie en fonction de la vitesse désirée. On a placé une résistance de $1K\Omega$ entre l'Arduino et la base du transistor, elle permet de protéger ce dernier si la tension est trop importante, car il peut chauffer et être détérioré.

La vitesse de rotation du moteur est introduite avec le clavier. Grâce à l'utilisation d'un capteur fourche qui est utilisé pour capter les impulsions lors de la rotation du moteur. L'optocoupleur est brancher à la broche (~6) de l'Arduino.

➤ **Le fonctionnement du moteur et la variation de vitesse :**

Pour cela il faut utiliser les broches digitales PWM de l'Arduino, leur avantage c'est qu'elles peuvent envoyer un train d'impulsions (rapport cyclique) variable. On les commande avec une fonction de l'Arduino qui va prendre une valeur entre 0 et 255 qui va définir le temps pendant lequel la broche sera à l'état HAUT durant chaque intervalle. 255 correspond à 100% du temps d'intervalle à l'état HAUT.

Le temps de cycle du début d'une impulsion à une autre est de 2 ms. Toutes les 2 ms, le pin va rester à l'état HAUT pendant un pourcentage du temps et à l'état BAS pour le reste des 2 ms. La figure III.6 montre ce principe :

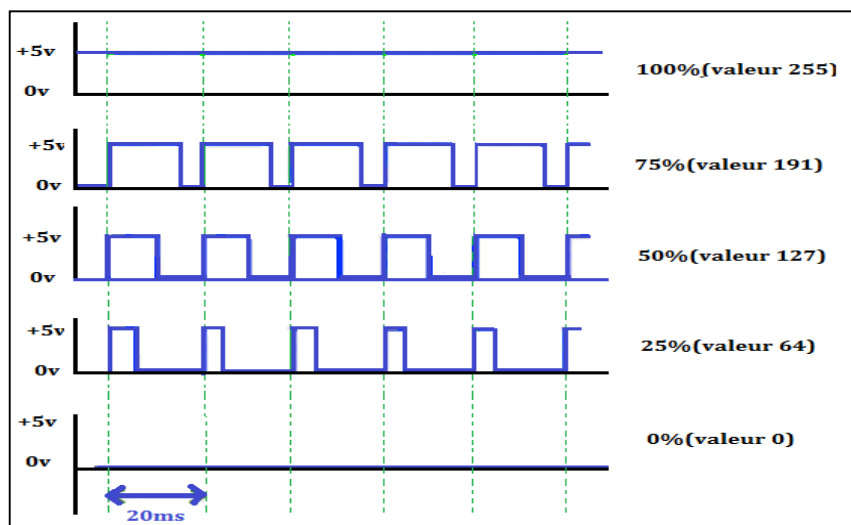


Figure III.6 : Valeur des impulsions.

Le transistor est commandé par une sortie de la carte Arduino via la résistance sur la base.

- Lorsque la sortie vaut 1, le transistor est saturé, le moteur est alimenté à la tension maximale, le courant est important dans le transistor mais la tension V_{ce} est presque nulle
- Lorsque l'état de la sortie est au niveau 0, le transistor est bloqué, le moteur n'est plus alimenté, la tension V_{ce} est maintenant maximale mais il n'y a plus de courant dans le transistor.

La fréquence doit être suffisamment élevée pour avoir une rotation continue et sans bruit du moteur.

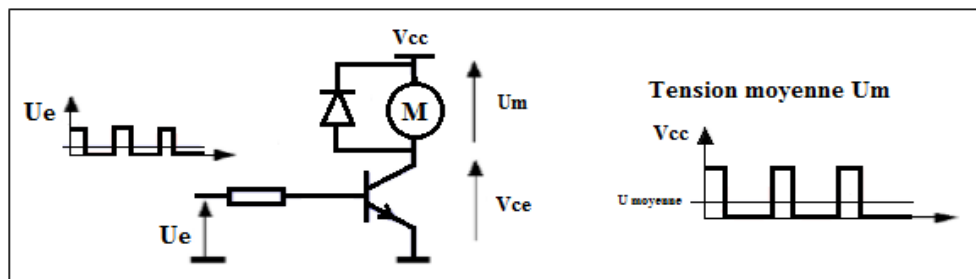


Figure III.7: Fonctionnement du moteur.

➤ Rôle et fonctionnement du capteur fourche :

Pour asservir la vitesse, le capteur utilisé est un phototransistor optiquement couplé à une diode électroluminescente infrarouge. L'énergie lumineuse provenant de la diode électroluminescente de saturer le phototransistor. La rotation du moteur coupe le flux à chaque tour, bloquant le phototransistor. On aura alors en sortie un train d'impulsions correspondant au nombre de tour effectué par le moteur. Les deux parties du montage électronique, le circuit de commande et le circuit commandé, sont totalement séparées du point de vue électrique.

La figure ci-dessous explique le branchement et le fonctionnement du capteur :

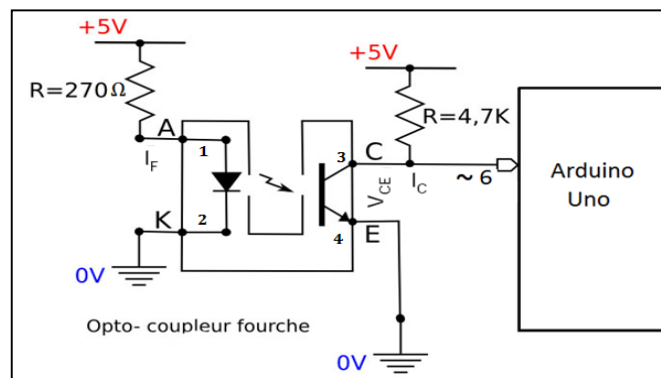


Figure III.8: Branchement du capteur.

Dans les applications de la fourche optique, la LED est constamment alimentée, et le phototransistor détecte alors la présence ou pas d'un objet opaque entre lui et la LED.

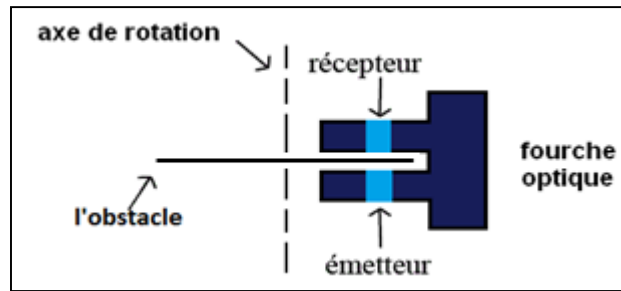


Figure III.9 : Présence d'un obstacle dans le capteur

III.2.2 Bloc de commande :

Ce bloc est constitué d'une carte Arduino Uno, cette dernière utilisée pour la gestion des différents périphériques, telle la commande du servomoteur et le pilotage du moteur, capteur fourche, l'afficheur LCD, le clavier...

Tous les périphériques sont mis en marche soit à partir du programme chacun avec sa propre librairie, soit avec l'alimentation directe.

Une fois le programme compilé et téléversé, les périphériques se mettent en marche.

La figure III.10 montre le branchement effectué :

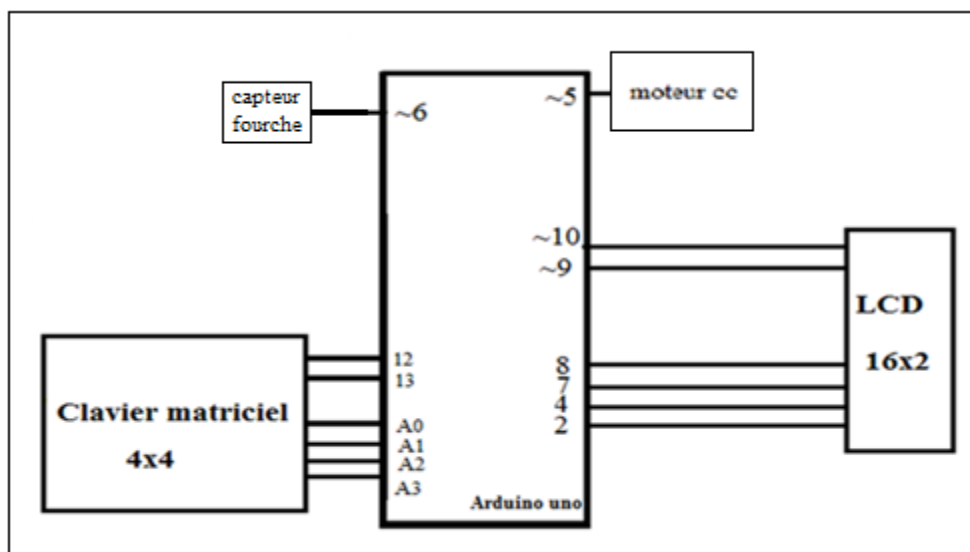


Figure III.10 : Schéma simplifié du bloc de commande.

III.2.3 Interface d'entrées /sortie :

➤ **Clavier matricielle:** Ce clavier comprend 16 touches disposées en 4 lignes et 4 colonnes. L'appui sur une touche fait communiquer une ligne avec une colonne la figure ci-dessous montre son fonctionnement. Arduino dispose d'une librairie « *KeyPad.h* » permettant d'utiliser facilement un clavier

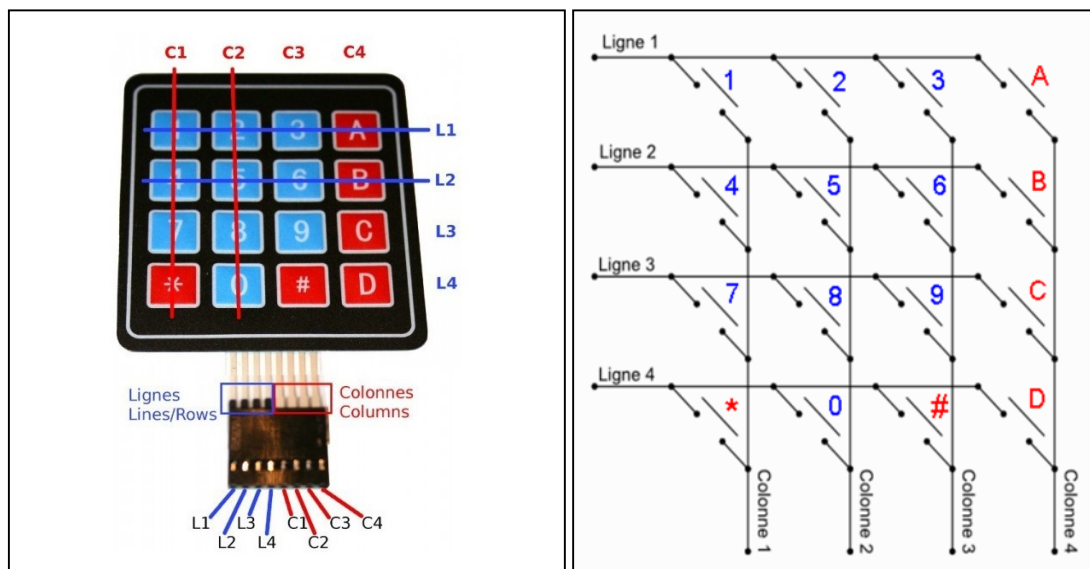


Figure III.11 : Les lignes et les colonnes du clavier matriciel et sa structure interne.

Il est constitué, comme le montre la figure III.11, de 16 boutons poussoirs interconnectés de façon à former une matrice 4x4 (4 lignes x 4 colonnes). Un appui sur une touche court-circuite la ligne et la colonne correspondantes.

- **Commande du moteur avec le clavier :**

{ 225 → 100% (vitesse max du moteur).
 { 127 → 50% (vitesse 1)

- Au début le moteur est à l'arrêt, en appuyant sur la touche **1** du clavier, le moteur se met alors à tourner avec une vitesse définie dans le programme, le moteur passe d'une vitesse nulle à une vitesse qui est de 50% de sa vitesse max.

- En appuyant sur la touche **2** du clavier, le moteur passe de sa 1^{ière} vitesse (50%) à sa

vitesse max de 100%, on va le laisser fonctionner avec sa vitesse maximale le temps de faire le dépôt.

➤ **Afficheur LCD** : L'afficheur LCD 16x2, utilisé en mode 4bits. La gestion de l'affichage est faite à partir de la librairie `<LiquidCrystal.h>` qui se trouve dans l'IDE d'Arduino. L'afficheur est utilisé pour afficher la valeur de la vitesse du moteur ainsi que le bon fonctionnement du servomoteur.

III.2.4 Bloc d'Alimentation :

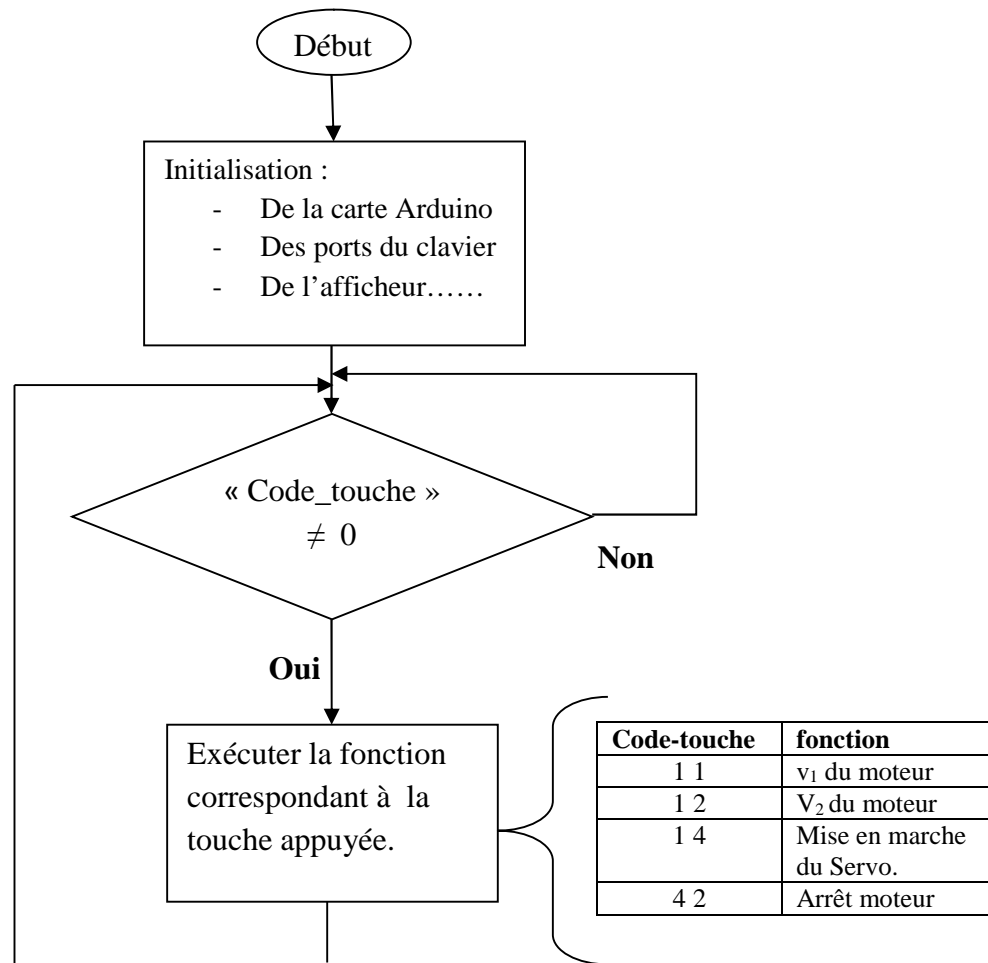
Tout montage électronique nécessite une alimentation pour fonctionner. Dans notre cas vu que tous l'ensemble du système doit être mis dans l'enceinte, et il doit être aussi autonome, alors on a opté pour l'utilisation de deux piles rechargeables, une de **5v** et une autre de **12v**. La pile de 5V pour l'alimentation de la carte Arduino et l'afficheur LCD, servomoteur..., et la pile de 12V pour alimenter le moteur à courant continu.

III.3 Partie informatique :

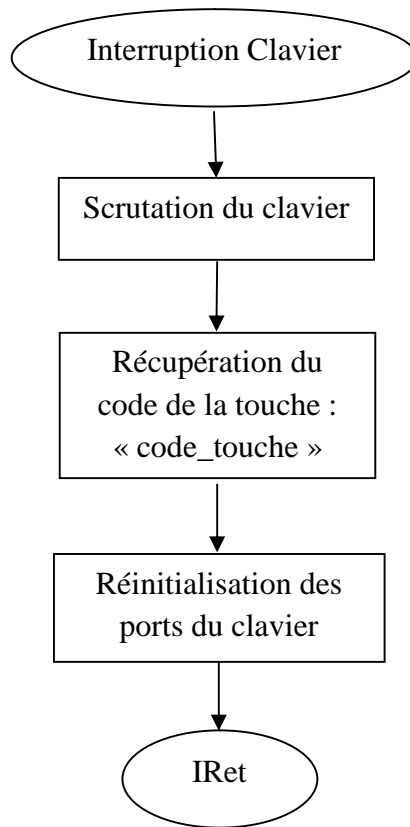
Avant de passer à la programmation, on doit faire l'organigramme explicatif du déroulement des différents événements de notre système.

- **Organigramme du fonctionnement du système :**

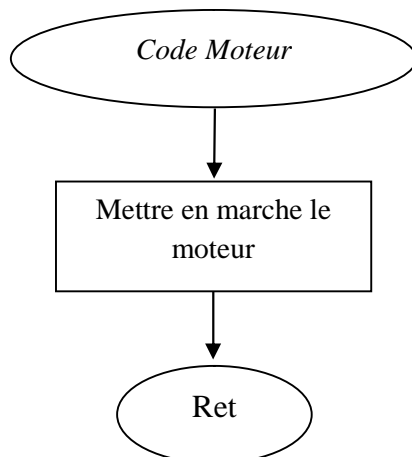
- **programme principal :**



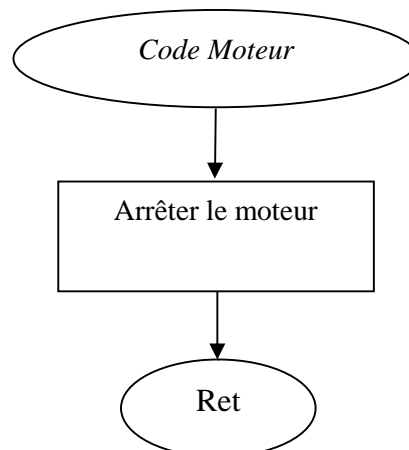
- **L'interruption :**



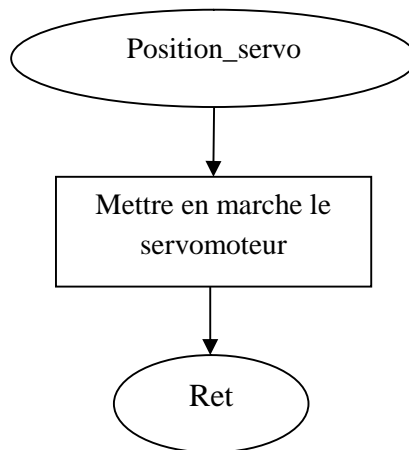
- **Mise en marche du moteur :**



- **Arrêt du moteur :**



- **Fonctionnement du servomoteur:**



Chapitre IV :
Réalisation du système.

Introduction :

Après l'étude théorique qui avait comme objectif d'illustrer le fonctionnement de chaque partie du montage, et de spécifier les différents composants à utiliser, nous allons maintenant passer à la réalisation pratique du système et présenter les différentes étapes par laquelle on est passées.

IV.1 étapes de la réalisation pratique de la carte :

Pour la réalisation du circuit électrique et le développement du circuit imprimé on a utilisé le logiciel « *PROTEUS* » Pour cela on a suivis les étapes suivantes :

- Pour créer le circuit électrique on a utilisé « *ISIS* » qui est fait spécialement pour cette tâche ainsi que pour la simulation du circuit.
- L'étape qui suit consiste à nommer les composants utilisés, bien sûr sans oublier les empreintes (footprints) de ces composants ainsi que les valeurs appropriées.
- La dernière étape est la transformation de ce schéma électrique en circuit imprimé PCB dans « *ARES* » qui est fait pour le dessin du circuit PCB ou le transfert du circuit électrique en PCB.

Il faut ensuite choisir les dimensions du PCB (les bordures) et l'épaisseur des pistes de routage ainsi que les pastilles.

IV.1.1 Simulation du circuit avant sa réalisation :

Avant de passer à la réalisation pratique de notre système nous avons eu recours à la simulation des différentes parties du dispositif. Pour cela on a utilisé le logiciel *ISIS* qui est un très bon logiciel de simulation en électronique. Prenant en charge les cartes Arduino.

La simulation permet d'ajuster et de modifier le circuit comme si on manipulait un montage réel. Ceci permet d'accélérer le prototypage et de réduire les coûts. Il faut toujours prendre en considération que les résultats obtenus de la simulation sont un peu différents de celles du monde réel. La figure ci- dessous montre la simulation du dispositif sous *ISIS*.

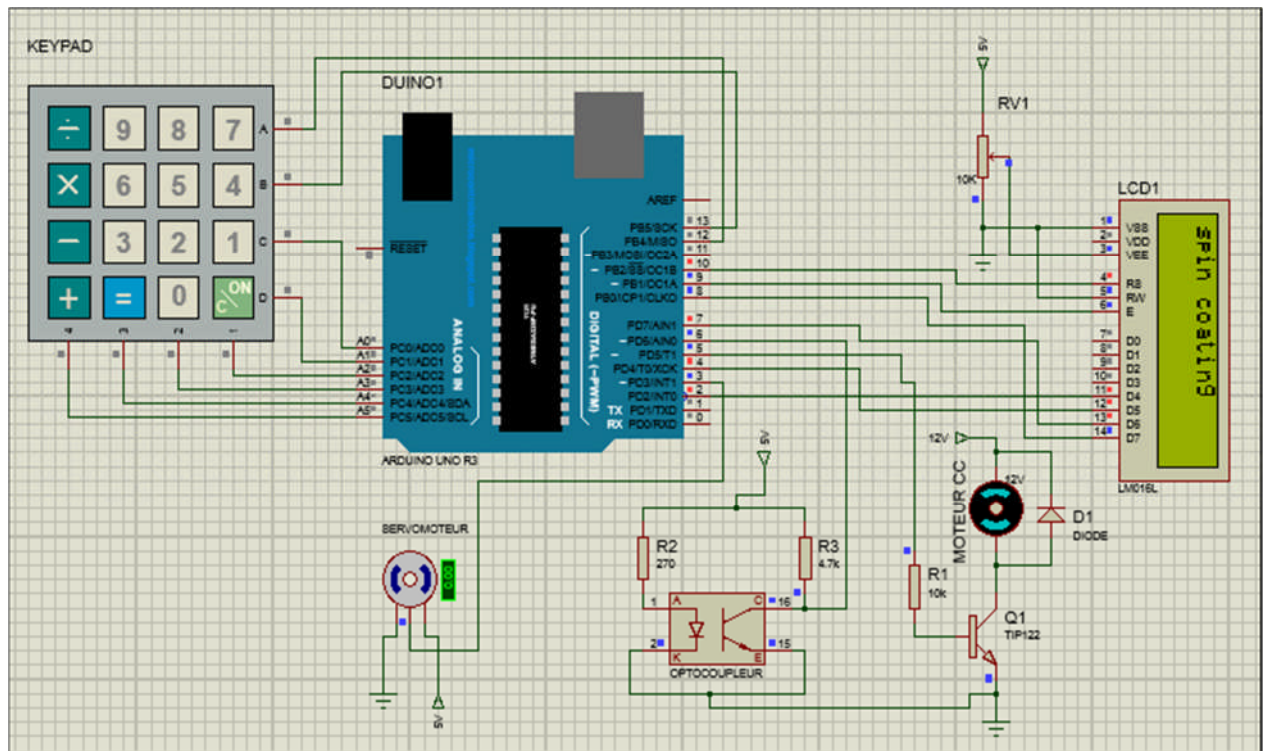
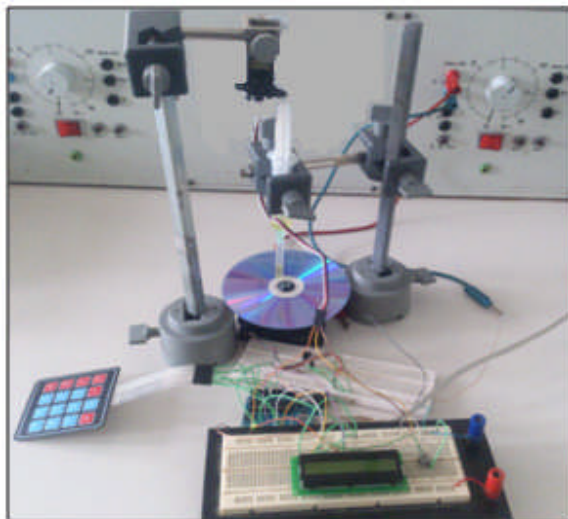


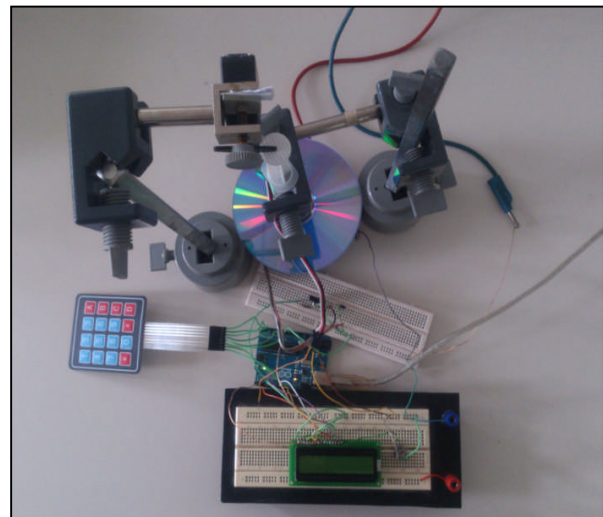
Figure IV.1 : La figure de la simulation.

IV.1.2 La disposition des différents blocs avant la réalisation :

La figure ci-dessous montre le branchement effectué sur la plaque d'essai avant la réalisation du système :



(a)



(b)

Figure IV.2 : (a) vu de face, (b) vu d'en haut du système sur la plaque d'essai avant sa réalisation pratique.

IV.1.3 Création et réalisation du circuit imprimé :

Avant de passer à la réalisation on doit vérifier que tous les composants possédant un package pour le circuit imprimé sinon on doit créer leurs package.

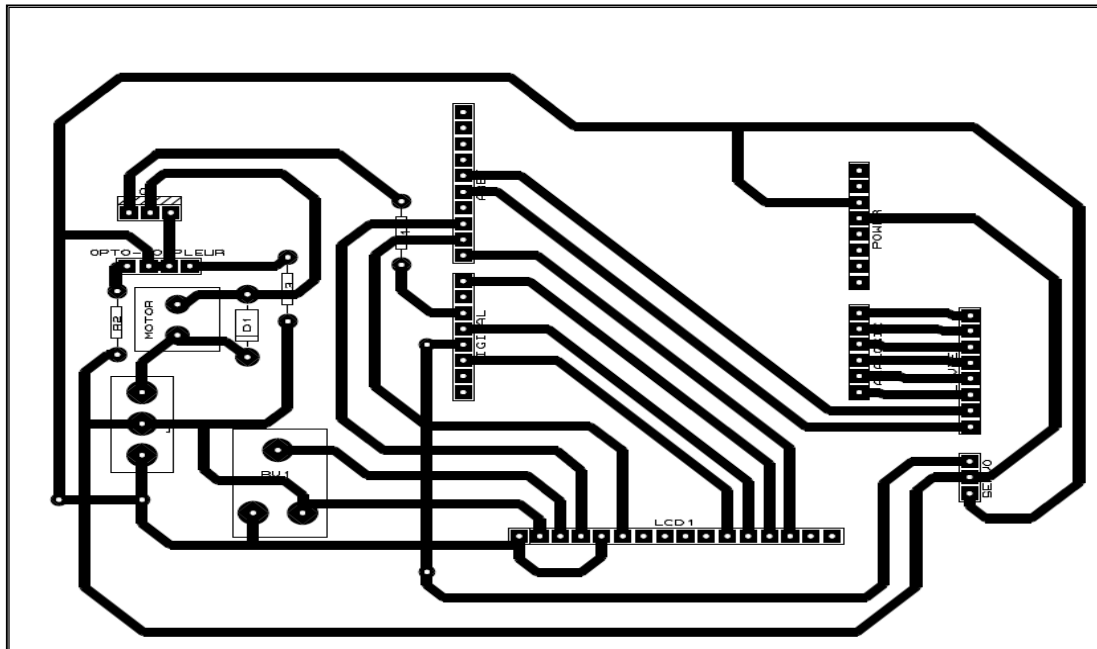


Figure IV.3: les composants et le pistes Circuit imprimé.

Le circuit imprimé est réalisé en respectant la distance entre les pistes et les pastilles qui sont en fonction des dimensions des composants utilisés dans la réalisation.

Le circuit est donné par la figure ci-dessous :

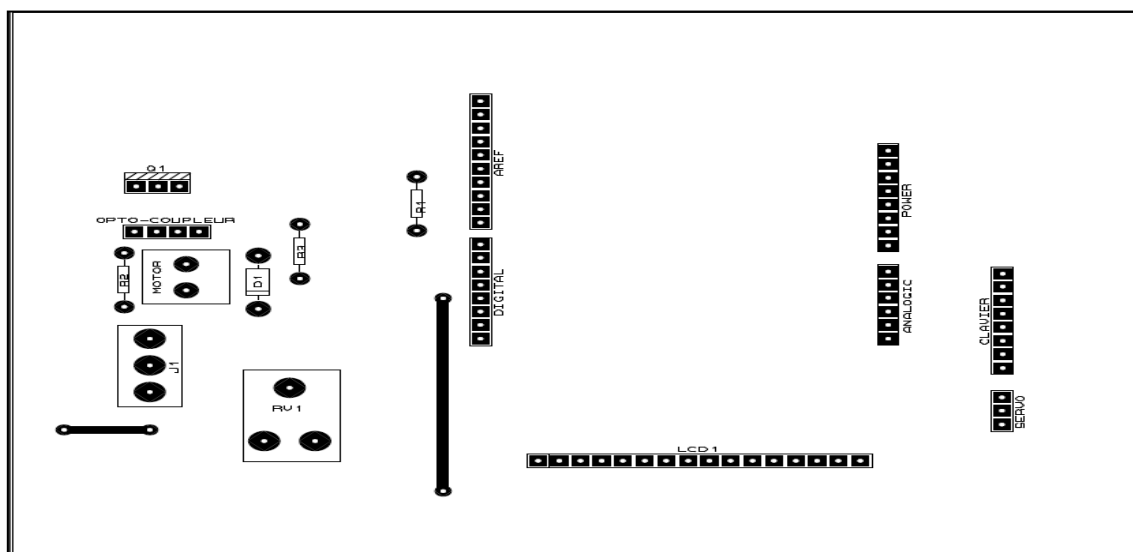


Figure IV.4 : le Circuit imprimé de la réalisation coté composants.

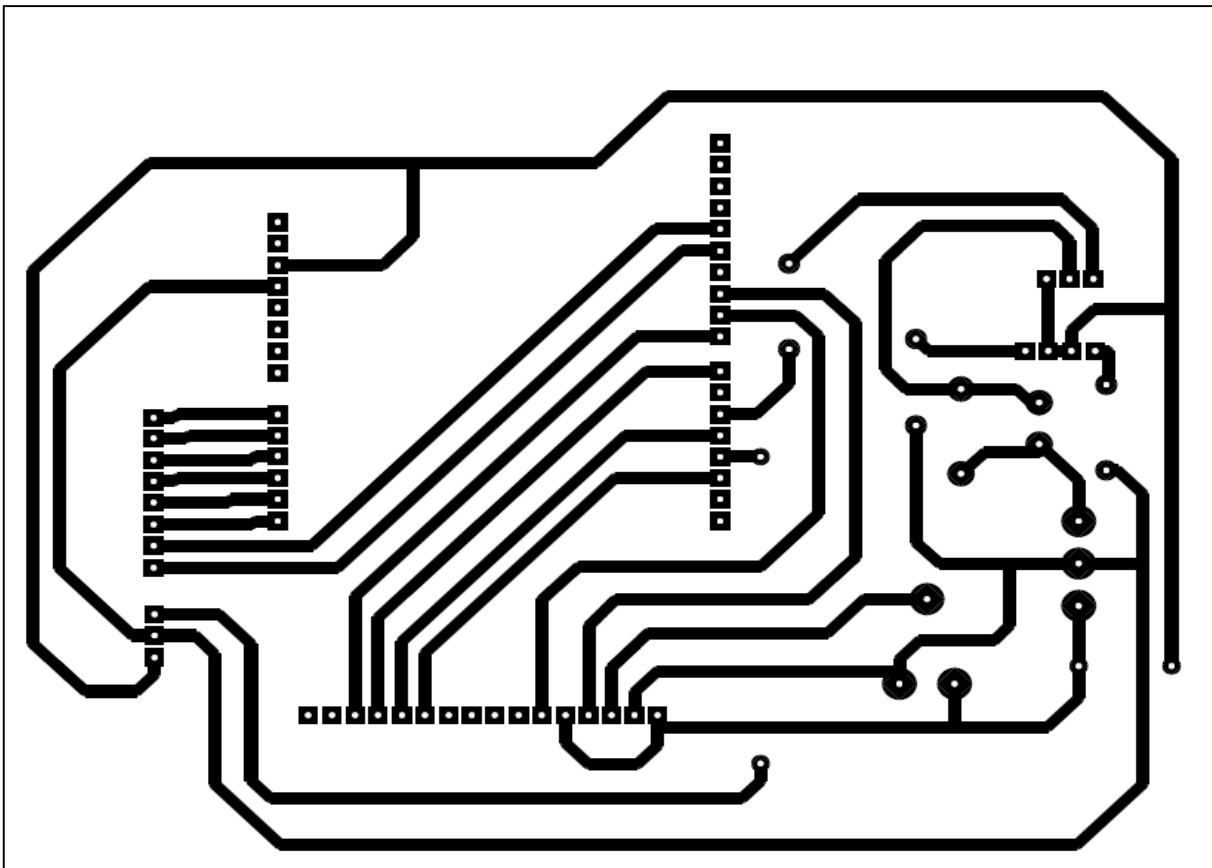


Figure IV.5 : le Circuit imprimé pour la réalisation

IV.1.4 Développement de la maquette :

Après la création et la réalisation du circuit électrique, On passe alors à la dernière étape qui est le développement de la maquette et cela en respectant les étapes suivantes :

- **L'insolation** : Retirer la pellicule protectrice de la plaquette pré sensibilisée. On superpose les typons sur la plaquette puis on passe à l'insolation pour une durée de 2 à 3mn. La partie exposée aux ultraviolets devient solvable dans le révélateur pour circuit imprimé.

- **La révélation** : Après l'insolation on plonge la maquette dans un bain de potasse avec une légère agitation pour éliminer toute la résine touchée par les rayons ultraviolets, cette opération dure entre 30s a 2mn. On termine par un rinçage à l'eau.

- **La gravure** :

Le cuivre non protégé est éliminé par une solution de perchlorure de fer chauffée. Dans ces conditions, la gravure complète se fera entre 15 et 25mn environ.

La gravure étant terminée, le circuit imprimé est rincé à grande eau. Une fois le circuit sec, on vérifie que tout le cuivre est éliminé, les retouches nécessaires sont faites avec un grattoir.

On vérifie l'absence de microcoupure et de courts -circuits entre pistes, on peut utiliser un ohmmètre pour cette vérification.

IV.1.5 Implémentation des composants sur la carte :

Après toutes les étapes précédentes, le circuit imprimé est prêt pour le perçage. Toutes les connexions seront percées à l'aide d'une perceuse munie d'un forêt de 0.8mm de diamètre. Certains trous nécessitent un agrandissement pour s'adapter aux composants les plus volumineux.

Pour l'implantation des composants, nous commençons par les plus petits pour terminer par les plus grands.

Nous souderons d'abord les composants passifs ajustables : résistances, LED... puis les supports des circuits intégrés. On veille à ce que les composants polarisés soient bien orientés et qu'ils soient de même hauteur .Enfin on termine par les semi-conducteurs et les composants les plus volumineux puis les connecteurs.

La figure ci-dessous nous montre l'implantation des composants sur la maquette.

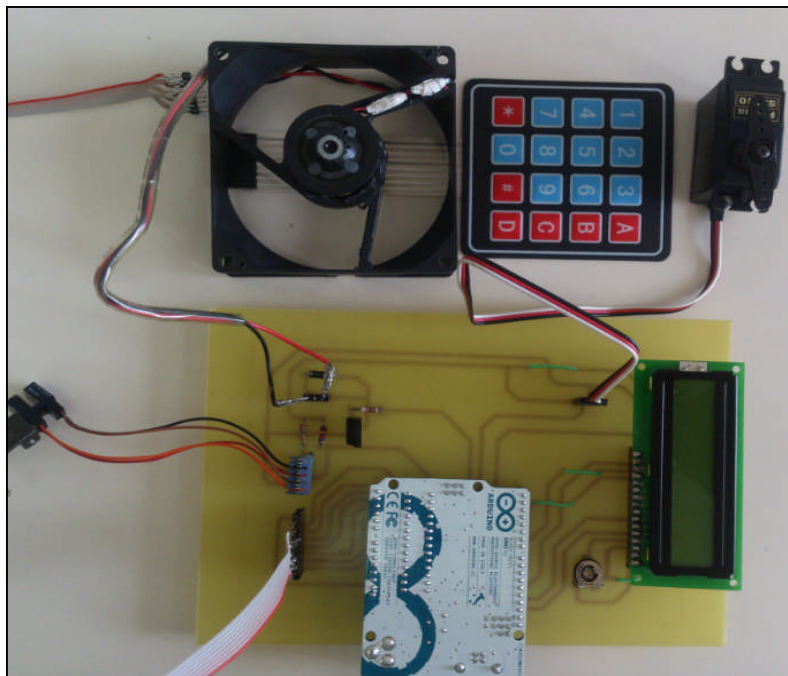


Figure IV.6: *Implantation des composants sur la maquette cotée composants.*

Une fois le câblage terminé, on vérifie visuellement qu'il n'y a pas de soudure oubliée, et on vérifie une dernière fois le sens de la diode et du transistor.

On met sous tension afin de vérifier la présence de la tension d'alimentation.

IV.1.6 Nomenclature des composants :

- Résistances :

R1 :1K Ω

R2 :270 Ω

R3 :4.7 Ω

AV1 : potentiomètre 10K Ω

- Semi-conducteur :

D1 : 1N4001

Q1 : Transistor Tip122

- Divers :

Carte Arduino Uno

Afficheur LCD 16x2 (GDM1602A)

Capteur fourche (OPB4904)

Clavier matriciel 4x4

Servomoteur (S3010)

Moteur courant continu (RF-300C-12350)

IV.2 Test et mise en place du système dans l'enceinte :

Après la fin des étapes de la réalisation de la maquette on passe alors à la mise en place des différents blocs du spin-coater.

Le dispositif réalisé est mis en place en respectant la place des différents blocs ainsi que la bonne orientation de la seringue vers le centre du moteur ou on dépose le substrat.

La figure ci-dessous illustre la mise en place dans l'enceinte :

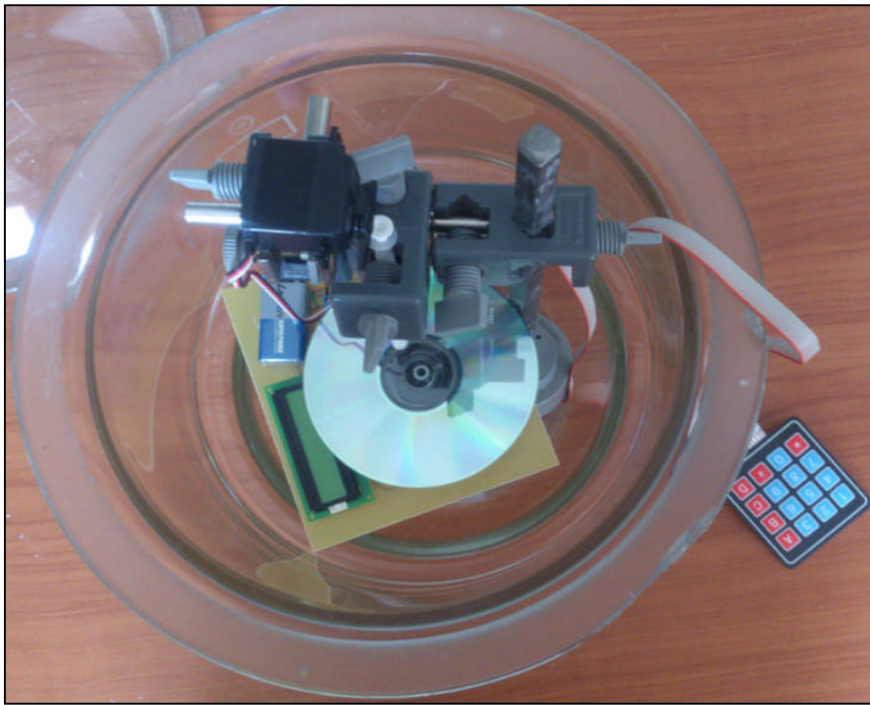


Figure IV.7: *Mise en place du système dans l'enceinte.*

i. Préparation de la solution et du substrat :

Le choix du substrat dépend de la caractérisation à effectuer sur la couche mince déposée et son utilisation. La qualité du dépôt et celle de l'échantillon dépend de la propreté et de l'état du substrat. Son nettoyage est donc une étape très importante pour l'obtention de couches minces de bonne qualité car la moindre impureté peut engendrer la contamination et le décollement des couches déposées.

Il faut éliminer toute trace de graisse et de poussière et vérifier que la surface du substrat ne comporte, ni rayures ni défauts.

Ces conditions sont indispensables à la bonne adhérence du dépôt sur le substrat, et à son uniformité (épaisseur constante).

ii. Le Dépôt des couches minces par spin-coating :

Tout d'abord on prélève à l'aide d'une seringue une petite quantité de la solution. Puis on place la seringue sur le support du mécanisme du pousse seringue. On monte le substrat sur le plateau, ce dernier est fixé sur le moteur.

La vitesse de rotation du moteur varie entre 0 et 3000 tr/min. On dépose quelques gouttes de la solution au centre du substrat qui est en mouvement rotatif grâce au moteur, Cela pendant différents temps de dépôt.

La force centrifuge qui est due à la rotation du moteur permet l'étalement de la solution sur la surface du substrat.

Le dépôt s'effectue en plusieurs étapes, où on actionne le moteur puis dépose la quantité qu'il faut de la solution pour une couche puis deux ainsi de suite pour permettre la formation des couches minces.

Une fois les couches minces obtenues on doit les traiter thermiquement puis les sécher on termine par leur caractérisation avant leur utilisation.

IV.3 perspectives et améliorations du système :

Plusieurs améliorations peuvent être apporté au spin-coater qu'on a conçu et réalisé.

- En premier lieu on peut changer la carte Arduino Uno par la carte Arduino Yún beaucoup plus performante. Cette carte utilise le même processeur Atmel ATmega32U4, mais elle dispose également d'un processeur additionnel Atheros AR9331 fonctionnant sous Linux.

Le Yún dispose de connecteurs et caractéristiques différentes par rapport à Uno. Elle dispose d'un connecteur pour carte SD, d'une connexion Ethernet (réseau filaire), connexion wifi et d'un connecteur USB-A Hôte (Host). le pilotage du système par clavier et afficheur peut être alors remplacé par l'utilisation d'un Smartphone ou tablette qui permettra l'envoi des commandes (paramètres d'expérimentations : vitesse du moteur, quantité de solution à déposée...) via la connexion wifi.

- Un module Peltier et un capteur de température peuvent être rajouté au système pour le contrôle de la température à l'intérieur de l'enceinte.

- Intégration d'un système pour faire le vide dans l'enceinte.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le développement des matériaux sous forme de films minces a contribué à une augmentation des performances en réduisant considérablement les coûts pour une production de masse. Une grande variété de matériaux est utilisée pour produire ces couches minces, on peut citer les métaux, alliages, les polymères...

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés à l'oxyde de zinc qui présente un ensemble de propriétés applicables dans différents domaines. C'est l'un des rares matériaux multifonctionnels que l'on peut trouver aujourd'hui. La mise en œuvre de technologies de fabrication de couches minces de *ZnO* a conduit à de nombreuses applications dans des domaines très divers tels le domaine des composants électroniques, l'optique, ...

Nous nous sommes aussi intéressés aux méthodes d'élaboration de couches minces en général, puis spécialement à la technique spin-coating. On a conçu alors un prototype de spin-coater qui sera utilisé dans le domaine de la microélectronique et de la chimie pour le dépôt de couches minces au niveau de **Laboratoire de Recherche Chimie Appliquée & Génie Chimique** de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Néanmoins, des améliorations du système réalisé peuvent être faites. Comme cité dans le chapitre précédent, la carte *Arduino Uno* peut être remplacée par la carte *Arduino Yun*, cette dernière procédant un ensemble d'avantages, comme la communication à distance via le réseau wifi ou Ethernet, ce qui facilitera la commande à distance du système (en remplacement du clavier et de l'afficheur LCD). Il serait aussi intéressant de prévoir un système de chauffage du substrat par l'utilisation d'un module Peltier pour contrôler la température lors des expériences.

Ce travail nous a permis d'exploiter nos connaissances et d'approfondir notre savoir en Electronique tels la programmation avec l'IDE d'*Arduino*, la réalisation, le développement et la simulation avec le logiciel *Proteus*. Nous avons aussi été confrontés à d'autres domaines tels la chimie et la microélectronique.

Conclusion générale

Bibliographie :

[1] : [www.Wikipédia.html/physique des matériaux](http://www.Wikipédia.html/physique%20des%20matériaux).

[2] : http://fr.wikipedia.org/wiki/couche_mince

[3] : S. HARIECH, « *Elaboration et caractérisation des couches minces desulfure de cadmium (CdS) préparées par bain chimique (CBD)* », Mémoire de Physique, Université Mentouri-Constantine, 2009.

[4] : http://www.upsud.fr/fr/les_ formations/les_ formations_par_ diplôme/ licences / sciences_ technologies_ sante/ liscences. mht.

[5] : http:// www.perso.wanadoo.fr/michel.hubin/physique/couche/chap_cm5.htm.#intro

[6] :K.KAMLI, « *Elaboration et caractérisations physico-chimique des couches mincesde sulfure d'étain par spray ultrasonique: Effet des sources d'étain* », Mémoire de Magister spécialité Physique, Université Mohamed Khider-Biskra, 2013.

[7] : Y.Benkhetta, « *L'effet du débit de la solution sur les propriétés des couches minces d'oxyde de zinc (ZnO) déposées par spray ultrasonique* », Mémoire de fin d'étude en Physique des Matériaux, Université Med Khider Biskra, 2013.

[8] : M.ATTALLAH,« *Elaboration et caractérisation des couchesmincesd'oxyde de silicium, obtenues par voie sol-gel* », mémoire de magister en physique, université Mentouri Constantine, 2010

[9] :[www.thermi-lyon.com/revêtements durs cvd /dépôts chimiques en phase vapeur](http://www.thermi-lyon.com/revêtements%20durs%20cvd%20/dépôts%20chimiques%20en%20phase%20vapeur).

[10] : <https://microelectronique.univ-rennes1.fr>

[11] : [www.Wikipédia.html/la technique sol-gel](http://www.Wikipédia.html/la%20technique%20sol-gel)

[12] : <http://www.techno-science.net>

[13] :[fr.wikipedia.org/wiki/Oxyde de zinc](http://fr.wikipedia.org/wiki/Oxyde%20de%20zinc).

[14]: www.lpsi.be

[15]: www.pmdcorp.com / Spin Coating Application for Semiconductor Wafers

[16] : M.MAACHE, « *Elaboration de films minces d'oxydes semi-conducteurs par voie Sol-Gel. En vue d'application aux Optoélectroniques capteurs et biomédicaux* » Université Mohamed Khider-Biskra, 2014.

[17] : BORDES Guilhem « *Élaboration et caractérisation d'un solide hydrophobe pour l'étude de la condition de glissement hydrodynamique à l'interface solide-liquide* » Mémoire de fin d'étude en Physique, Université Claude Bernard Lyon1, 2006.

[18] : CHAHMAT Nadia, « *Traitement de l'oxyde de zinc et étude de ses propriétés Physicochimiques superficielles* » Mémoire en Physique, Université Badji Mokhtar-Annaba, 2014.

[19] : Liu yang, « *Caractérisation de couches minces de ZnO élaborées par la Pulvérisation cathodique en continu* » École Doctorale Sciences Pour l'Ingénieur, Electronique, Université du Littoral Côte D'opale, 2012.

[20] : Stéphane Brochen, « *Propriétés électriques du ZnO monocristallin* » Université de Grenoble, 2012.

[21] : BOUCHENAK KHELLADI Nesrine « *Etude et Réalisation par voie Sol- Gel de couches minces de ZnO et nanostructures (ZnO / verres) pour l'optique et l'optoélectronique* » thèse de doctorat en physique.

[22] : Rezika BAKRI, « *études du système ZnO-ain-zrn* » Mémoire de magister en chimie, 2012.

[23] : A. Moustaghfir, « *Elaboration et caractérisation de couches minces d'oxyde de zinc, Application à la photoprotection du polycarbonate* », Thèse de l'Université Blaise Pascal, 2006.

[24]: V. Srikant, D. R. Clarke, J. App. Phys., 83 (1998) 5447.

[25] M. Rebien, W. Henrion, M. Bär, Ch.-H. Fischer, App. Phys. Lett., 80 (2002) 3518.

[26] : Sarah MENAKH, « *Contribution à l'étude des propriétés de films ZnO* »

Mémoire de magister en physique, Université Mentouri Constantine, 2011.

[27] : BEDIA Asma, 2015 « *synthèse et caractérisation des nanostructures d'oxyde de zinc (zno) pour des dispositifs a applications biomédicales* » Thèse de doctorat en Physique, Université Abou Bakr Belkaïd- Tlemcen.

[28] : Fatima BENSMAIN, 2015 « *Etude théorique sur les applications actuelles du ZnO et les dopages possibles sur ce matériau* » *Mémoire en ???* , Université ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN.

[29] : BENYAHIA El-Hachmi « *Caractérisation structurale et optique de couches minces formées par des agrégats des nanocristaux de ZnO* » Magister en Physique, Université Mentouri Constantine.

[30]:Hong-Jie Tseng, Wei-Cheng Tian and Wen-Jong Wu, Article publié le 25 avril 2013, “*Flexible PZT Thin Film Tactile Sensor for Biomedical Monitoring*”, www.mdpi.com/journal/sensors, Sensors 2013, ISSN 1424-8220

[31]: infohightech.html/*Un capteur électronique aussi sensible que la peau humaine*, Publié le 8 août 2012.

[32] : [Le Monde Informatique.html](http://LeMondeInformatique.html), *Un capteur flexible capable de réaliser un bilan médical*.

Résumé :

Dans le but de concevoir un capteur en couches minces, pour application en biomédical, on a besoin de faire un dépôt à l'aide d'une technique d'élaboration de couches minces qui est la spin-coating et vu que cette dernière est non disponible au sein du laboratoire Maquette de la faculté Génie électrique et informatique de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, nous avons l'objectif de concevoir et réaliser un spin-coater, utilisé pour le dépôt en couches minces de solutions chimiques tel l'Oxyde de Zinc (ZnO) ,sur des substrats différents, dirigé par **Mr H.ACHOUR**, en collaboration avec **Mr A.CHAOUCHI** du **Laboratoire de Recherche Chimie Appliquée & Génie Chimique**, appartenant à la faculté des sciences de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou .

Une fois réalisé, le spin coating est mis sous tension et on a pu effectuer quelques testes.

Mots clés : spin coating, Sol Gel, techniques de dépôt, ZnO...