الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique

Université YAHIA Fares de Médéa

Faculté de technologie



Département de Génie mécanique

Option : Énergies renouvelables

Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en énergies renouvelables

Contribution à l'étude d'un panneau solaire photovoltaïque : fabrictaion, technologie et impact environnemental

Encadré par:

Dr.CHIBA Younes

Dr.BELAISSA Yahia

Réalisé par :

LAHMIRA Hamza

Promotion : 2018/2019



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à

Mes parents

Mes cher frères et sœurs

Ma grand-mère

Mon grand Père

Mes collègues

A tout ceux qui m'on aidé à réaliser de prés ou de loin ce mémoire.

A ceux qui me sont chère et ceux que j'ai aimé du fond de mon cœur.



Hamza

Remerciements

Je remercie tout d'abord le bon dieu pour m'avoir donné le courage et la force de mener à bien ce travail.

Je remercie particulièrement mes promoteurs ***Dr. Chiba Younes*** *et* ***Dr. Belaissa Yahia*** *pour leurs patiences, confiances, ses remarques, ses conseils, pour leur disponibilité et bienveillance et je remercie* ***Dr.Boukaoud*** *qui m'a aidé dans la partie des résultats c'était grâce à son assistance je suis arrivé pour les commenter précisément. Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde gratitude.*

Je voudrais également remercier monsieur le chef de département ***Dr. Zirari Mounir*** *et* ***Dr.Khasrane*** *pour la gérance exemplaire du département génie-mécanique.*

Je remercie aussi tout les enseignants qu'ils ont m'accompagné pendant mes études de master à l'université de Médéa pour leur encouragement, fidélité et sacrifice et donner des bons cours pour avoir les meilleurs résultats.

Je remercie aussi les ingénieurs des labos de hall de technologie qu'ils m'ont aidé et m'ont accepté de travailler chez eux avec tout respect et bienveillance.

Je tiens aussi à remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail, pour toutes leurs remarques et critiques constructives. Enfin, merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Hamza

Merci

Sommaire

Introduction général.....1

Chapitre I : Généralités sur les énergies renouvelables

I.1.Introduction ….....3

I.2.Énergie solaire photovoltaïque…….....3

I.3.L'éolien.....4

I.4..Énergie solaire thermique .....….....6

I.5. La biomasse.....…...8

I.6.Énergie hydraulique.....…... 9

I.7.Production de l'hydrogène.....….....9

I.9.Conclusion.....…..11

Chapitre II : La technologie photovoltaïque

II.1.Introduction .....….....12

II.2.Les semi-conducteurs.....…..13

II.3.Oxyde Zinc (ZnO) et son application dans le photovoltaïque.....14

II.4. Méthodes d'élaboration des nanopoudres.....…….....14

II.5..Élaboration du silicium .....…...15

II.5.1.Raffinage du silicium.....…...15

II.5.2.Élaboration du silicium métallurgique.....…...16

II.5.3.Du silicium métallurgique au silicium solaire (électronique).....…...18

II .5.3.1.Voie chimique : procédé Siemens….....18

II.5.3.2.Voie métallurgique : procédé Elkem 19

II.6.Cristallisation des lingots de silicium.....…...20

II.6.1.Procédé de solidification dirigée.....….20

II.7.Les différents types de silicium….....21

II.8.Structure cristalline du silicium.....….....22

II.9.Le dopage.....….....23

II.10.Cellules PV….....24

II.10.1.Définition.....….....25

II.10.2.Principe de fonctionnement des cellules .....….....25

II.10.3.Caractérisation des cellules solaires.....….....26

II.11.Défaut dans le silicium.....…...27

II .12.Assemblage des modules 27

II.13.Impact environnemental des systèmes Photovoltaïques.....29
II.14.Produits chimiques et rejets.....30
II.15.Conclusion.....31

Chapitre III : Étude expérimental du ZNO

III.1.Introduction …….....32
III.2.Voie colloïdale.....33
III.3.Le procédé de sol-gel.....33
III.4.Les conditions expérimental.....34
III.5.Étape d'élaboration du ZnO avec le Cu 34
III.6.Dopage de ZnO par Aluminium Al.....38
III.7. Dopage de ZnO par Cobalt Co.....41
III. 8.La structure final des poudres dopé a la fin de calcination.....43
III.9 Les échantillons des poudres dopées.....44
III.10. Conclusion.....45

Chapitre IV : Résultat et Discussion

IV. Introduction.....46
IV.1.Propriété de ZnO.....46
IV.2.Spectre d'absorbance de ZnO dopé Al 5%.....47
IV.3.Spectre d'absorbance ZnO dopé Cu 3% 49
IV.4.Spectre d'absorbance ZnO dopé Co 5%.....50
IV.5.Comparaison des spectres d'absorbance 52
IV.6.Bande de transmittance de ZnO dopé en Cu,Co,Al.....53
IV.7.Conclusion 54

Conclusion général

Conclusion général.....55

Liste des figures

Figure I.1 : Champ photovoltaïque.....4
Figure I.2: Schéma d'une éolien.....5
Figure I.3 : Éolien à axe horizontale.....5
Figure I.4 : Éolien à axe verticale.....6
Figure I.5 : Capteur solaire plan vitré.....7
Figure I.6 : Capteur solaire moquette 7
Figure I.7: Le cycle de la biomasse (bois).....8
Figure I.8 : Barrage représente une énergie hydraulique.....9
Figure I.14 : Schéma de fonctionnement de différents types de pile à combustible.....9
Figure II.1 : La structure atomique du semi conducteur.....13
Figure II .2 : Schéma résumé des étapes de fabrication du panneau PV.....15
Figure II.3 : fours à arc.....17
Figure II.4 : Silicium métal en fusion.....17
Figure II.5 : Silicium métallurgique.....20
Figure II.6 : Procédé d'elkem en fabrication de silicium électronique.....21
Figure. II.7 : Cristallisation d'un lingot multicristallin par solidification dirigée.....21
Figure II.8 : structure cristalline de silicium.....23
Figure II.9 : Le dopage N et P du silicium.....24
Figure II.10 : Structure d'une cellule PV.....24
Figure II.11: représentation schématique du modèle une diode. 25
Figure II.12 :Assemblage des modules photovoltaïques.....28
Figure II.13: Module PV Condor type 72M.....28
Figure III.1 : Structure hexagonale de ZnO.....32
Figure III.2 : poudre du ZnO 14.55g.....35
Figure III.3 : poudre du Cu.....35
Figure III.4.1 : mélange du ZnO avec le Cu et quelque goûte de HNO3.....36
Figure III.4.2 : Solution du ZnO et Cu et HNO3.....36
Figure III.5 : Évolution de la viscosité de la solution et de la constante élastique du gel.....37
Figure III.6 : (pate blanche) sol-gel du ZnO avec le Cu et HNO3.....37
Figure III.7.1 : pate blanche solide du ZnO avec Cu.....38
Figure III.7.2 : poudre du ZnO dopé avec Cu.....38

Figure III.8.1 : poudre de ZnO 95%.....39
Figure III.8.2 : poudre de Al 5%.....39
Figure III.9.1: Mélange du ZnO et Al. 39
Figure III.9.2: L'ajoute de HNO3. 39
Figure III.10.1 :La solution du ZnOAl + l'acide nitrique HNO3.....40
Figure III.10.2: Pate visqueuse ZnO-Al. 40
Figure III.11.1: Poudre de cobalt 0.75g. 41
Figure III.11.2: Mélange du Cobalt+ZnO. 41
Figure III.12 : Séchage du mélange et changement d'état vers un gel de couleur bleu.....41
Figure III.13 : La pate de ZnO-Co.....42
Figure III.14.1: Pate ZnO-Co.....42
Figure III.14.2: Poude ZnO-Co.....42
Figure III.15.1: Echantillon ZnO-Al.....43
Figure III.15.2:Échantillon ZnO-Cu.....43
Figure III.15.3: Echantillon ZnO-Co.....43
Figure III.16 : Poudre ZnOAl,poudre ZnOCu,poudre ZnOCo.....44
Figure III.17 : Les échantillant du ZnO dopé en Cu,Al,Co.....44
Figure IV.1 : Spectre d'absorbance de ZnO dopé Al.....47
Figure IV.2 : Spectre d'absorbance de ZnO dopé Cu.....49
Figure IV.3 : Spectre d'absorbance de ZnO dopé Co.....51
Figure IV.4 : spectres IR de ZnO dopé. absorbance.....52
Figure IV. 5: spectres IR de ZnO dopé. transmittance.....53

Liste des tableaux :

Chapitre II

Tableaux II.1 : inventaire de cycle de vie simplifié pour les modules au silicium multicristallin.....29

Tableaux II.2 : Principaux produit chimique utilisé pour la fabrication des cellules au silicium cristallin.....30

Chapitre IV

Tableaux IV.1 : Attribution des bandes IR observée pour ZnO dopé 5 % de Al 48

Tableaux IV.2 : Attribution des bandes IR observée pour ZnO dopé 3% de Cu.....49

Tableaux IV.3 : Attribution des bandes IR observée pour ZnO dopé 5% de Co.....51

الملخص :

لقد قمنا بهذا العمل والبحث من اجل التعريف بالطاقة الخضراء أي الطاقة المتجددة بمختلف أنواعها وهي صديقة للبيئة للتقليل من التلوث والاحتباس الحراري و لقد ركزنا على الطاقة الشمسية التي تمثل الموضوع الرئيسي الذي يدور حوله العمل فبدأنا بكيفية استخراج المادة الأولية المتمثلة في السيليسيوم الخام من الرمل وتحويلها إلى سيليسيوم الكتروني قابل للاستعمال على سطحها وتحويل الفتونات الضوئية إلى تيار كهربائي مستمر وقابل للتخزين استعملنا أكسيد الزنك نظرا لتوفره و إمكانية الحصول عليه في مختبر الكيمياء 2 في البهو التكنولوجي لجامعة المدية أولا وثانيا سعره مقارنة بالسليسيوم بالإضافة إلى خصائصه الكيميائية والفيزيائية الهامة وانه أيضا غير سام.قمنا بتحضيره ودمجه مع معادن أخرى قصد التحسين ودراسة خصائصه الناتجة في مخبر الفيزياء كالنقالية والامتصاص في المجال الضوئي المرئي و فوق البنفسجي و كذلك الأشعة الحمراء .فبإمكان هذه المادة أن تصبح رئيسية في صناعة عدسات الطاقة الشمسية .
-وبإمكاننا في الجزائر تطويرها والاستثمار في مجال الطاقات المتجددة نظرا لوجود كل العوامل الطبيعية و المناخية وكذلك المادية.

الكلمات الرئيسية: احادي اكسيد الزنك، الطاقة الشمسية، التنشيط، النحاس، الالمنيوم، الكوبالط.

Résumé :

Nous avons effectué ce travail et recherche pour la définition de l’énergie verte, c’est-à-dire les énergies renouvelables de différentes sortes, respectueuse de l’environnement et visant à réduire la pollution et le réchauffement de la planète. Nous nous sommes concentrés sur l’énergie solaire, qui est le principal sujet de travail. Nous avons utilisé l'oxyde de zinc car il est disponible dans le laboratoire de chimie 2 du hall technologique de l'Université de Médéa, d'abord et pour sont prix paraport au silicium. Nous l'avons préparé et combiné avec d'autres métaux pour améliorer et étudier ses propriétés dans les laboratoires de physique tels que la transition et l'absorption dans le domaine de la lumière optique et ultraviolette ainsi que des rayons rouges.Ce matériau peut devenir une industrie majeure de cellule PV d’Énergie solaire - Nous pouvons développer et investir en Algérie dans le domaine des énergies renouvelables en raison de la présence de tous les facteurs naturels et climatiques ainsi que des matériaux.

Mots clés :Zno,energie solaire,dopage,Cu,Al,Co.

Abstract :

We have done this work and search for the definition of green energy, ie renewable energy of various kinds and it is environmentally friendly to reduce pollution and global warming. We focused on the solar energy, which is the main subject in which the work is going on and we began how to extract the raw material of raw silicium from sand, We have used zinc oxide because it is available and available in chemistry lab 2 in the technological lobby of the University of Medea first and secondly its price is We have prepared and combined it with other metals to improve and study its properties in the laboratory of physics such as the transition and absorption in the field of optical and ultraviolet light as well as red rays. This material can become a major lens industry solar power . - We can develop and invest in Algeria in the field of renewable energies due to the presence of all natural and climatic factors as well as material.

Key words: Zno, solar energy, doping, Cu, Al, Co

Liste des abréviations

PV : Photovoltaïque.

a-Si : silicium amorphe

CdTe : Tellurure de Cadmium

CIGS : Cuivre Indium Gallium Sélénium

c-Si : crystalline Silicon (silicium cristallin massif, par opposition à silicium amorphe).

EF : Energie Finale

EP : Energie Primaire

EPDM : Terpolymère d'éthylène-propylène

EVA : Ethylène-Vinyl Acétate

KWc : kilowatt-crête, unité pour caractériser la puissance délivrée par un module PV sous un ensoleillement standard de 1 kW/m!, (kilowatt-peak ou kWp en anglais).

mc-Si : multicrystalline siliconi (silicium multicristallin)

MG-Si : Metallurgical-Grade Silicon (silicium de grade métallurgique) obtenu à partir de la silice par des procédés métallurgiques. pureté de 98 à 99%, soit un taux d'impuretés d'environ 15000 ppm.

PET : PolyEthylène Téréphtalate

Poly-Si: PolySilicon (polysilicium ou silicium polycristallin)
obtenu à partir de MG-Si par des procédés chimiques (typiquement Siemens). Utilisé pour la cristallisation des lingots.Pureté de 99,9999%, soit un taux d'impuretés d'environ 1 ppm. Appellation abusivement utilisée pour désigner le silicium multicristallin.

PVF : PolyFluorure de vinyle

sc-Si : Single Crystalline Silicon (silicium monocristallin)

SoG-Si : Solar-Grade Silicon (silicium de grade solaire) Nom du Poly-Si spécifique à la filière solaire (par opposition à la filière électronique). obtenu à partir de MG-Si par des procédés chimiques ou métallurgiques, ou directement à partir de silice très propre, ou de UMG-Si. Utilisé pour la cristallisation des lingots. Pureté de 99,9999%, soit un taux d'impuretés d'environ 1 ppm. De qualité moindre que le Poly-Si destiné à la filière électronique.

TPE : ThermoPlastique Elastomère

UMG-Si: Upgraded Metallurgical-Grade Silicon (silicium de grade métallurgique amélioré) obtenu à partir de la silice par des procédés métallurgiques successifs. Est utilisé à la place du

Poly-Si ou en mélange avec celui-ci. Pureté supérieure à celle du MG-Si et inférieure à celle du poly-Si. Présente des niveaux de dopants élevés.

Cu : cuivre.

Al : Aluminium.

Co : Cobalt.

IR : Infrarouge.

AFM : Atomique force microscopique.

UV : Ultraviolet.

Introduction générale

Introduction :

Les énergies renouvelables sont celles qui se produisent de manière continue, et qui sont inépuisables, à une échelle humaine: solaire, éolien, hydraulique, biomasse et géothermique. Elles sont respectueuses de l'environnement, leurs effets sont infiniment mineurs par rapport à ceux des énergies conventionnels (combustibles fossiles, énergie nucléaire, etc.), et sont normalement réversibles. [11]

Découvert en 1839 par Antoine Becquerel, l'effet photovoltaïque permet la transformation de l'énergie lumineuse en électricité. Ce principe repose sur la technologie des semi-conducteurs. Il consiste à utiliser les photons pour libérer les électrons et créer une différence de potentiel entre les bornes de la cellule qui génère un courant électrique continu. L'hélio électricité est apparue en 1930 avec les cellules à oxyde cuivreux puis au sélénium. Mais ce n'est qu'en 1954, avec la réalisation des premières cellules photovoltaïques au silicium dans les laboratoires de la compagnie Bell Téléphone, que l'on entrevoit la possibilité de fournir de l'énergie. Très rapidement utilisées pour l'alimentation des véhicules spatiaux vers les années 60 avec l'équipement de satellites spatiaux. Puis à partir de 1970, les premières utilisations terrestres ont concerné l'électrification des sites isolés. Le progrès des techniques de production de cellules photovoltaïques ainsi que l'augmentation des volumes de production ont entraîné, à partir des années 1990. [12]

L'Algérie s'est engagée sur la voie des énergies renouvelables afin d'apporter des solutions globales et durables aux défis environnementaux et aux problématiques de préservation des ressources énergétiques d'origine fossile à travers le lancement d'un programme ambitieux pour le développement des énergies renouvelables. De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants du monde. La durée d'insolation sur la quasi totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m2 est de l'ordre de 5 Kwh sur la majeure partie du territoire national, soit prés de 1700 Kwh/m2 /an au Nord et 2263 KWh/m2 /an au sud du pays. [11]

Habituellement la recherche est le développement du PV est basé sur les centre de recherche et des études expérimentale des matières premières qui représente le scillucim et d'autre semi conducteur pour avoir la meilleure qualité c- t- dire très très pure et le meilleure rendement énergétique.

Pour les impacts enviremental la recherche a pour but d'avoir moins pollution et moins de gaz dans l'environnement et que le panneau soit accordé d'une durée de vie et accepter le recyclage de ses matières.

Dans ce travaille de master en va entamné les différents procédés de fabrication de semi-conducteur et panneau photovoltaïque, fonctionnement, influence sur la nature. Le présent manuscrit est structuré comme suit :

-Dans le premier chapitre nous présentons quelque types principaux des énergies renouvelables avec définitions qui sont : éolienne, photovoltaïque, biomasse, photo-thermique, hydroélectrique.

-Le second chapitre décrit la technologie photovoltaïque depuis la fabrication du panneau jusqu'au sont installation et mise en fonctionnement.

-Le troisième chapitre est concerné à l'étude expérimentale de l'élaboration ZnO dopé par différent matériaux.

-Dans le quatrième chapitre les résultats obtenue sont analysés et discutés.

Chapitre I : *Généralités sur les énergies renouvelables*

I. Généralités sur les énergies renouvelables

I.1 .Introduction

Les énergies renouvelables se révèlent aujourd'hui, comme sources de production d'électricité vitales, obtenues à partir des gisements inépuisables telle que : « le soleil, le vent, la chaleur de la terre, les chutes d'eau ou encore les marées ». L'avance spectaculaire dans les différents domaines de technologie ces dernières années, ces formes alternatives de production d'électricité deviennent, pour certaines, compétitives par rapport aux combustibles fossiles qui révèlent leur épuisement et leur incidence environnementale (pétrole, gaz, et dans une moindre mesure, charbon et uranium).

-Le solaire est une utilisation directe des rayons du soleil pour produire chaleur ou électricité.

-La biomasse regroupe l'ensemble des énergies provenant de la dégradation de la matière organique. C'est de l'énergie solaire transformée par les plantes chlorophylliennes qui sont utilisées soit directement soit après de nouvelles transformations chimiques.

-La géothermie est l'utilisation directe des gradients des températures terrestre ou de sources chaudes. [20]

-L'éolien utilise l'énergie du vent de manière mécanique.

Dans ce premier chapitre, nous allons décrire une vue général sur les énergies renouvelables (éolien, solaire, biomasse, hydraulique, photo-thermique).

I.2.Énergie solaire photovoltaïque

La source principale de lumière utilisée pour la conversion photovoltaïque (PV) est la lumière dite naturelle du soleil. Il nous faut donc connaître et comprendre le rayonnement solaire terrestre (ayant traversé l'atmosphère) pour étudier les dispositifs photovoltaïques développés pour convertir cette énergie en électricité.

Le soleil est une étoile de forme pseudo-sphérique composée de matière gazeuse, essentiellement de l'hydrogène et de l'hélium. Il est le siège de réactions de fusion nucléaire permanentes et sa température de cœur atteint 107 K. Comme tout corps chaud, il va rayonner et c'est la portion du spectre émis arrivant à la surface de la terre qui nous intéresse. A la surface du soleil, la densité de puissance peut être modélisée par la température d'un. L'effet photovoltaïque, dont le principe est simple : La lumière du soleil (les photons) est transformée directement en électricité (les électrons) par des cellules photovoltaïque. Ces cellules sont reliées entre-elles sur un module solaire photovoltaïque. Plusieurs modules sont regroupés en panneaux pour former un parc ou une installation solaire, qui alimente un réseau

de distribution électrique. L'énergie solaire photovoltaïque est la seule filière qui peut être installée n'importe où, y compris en centre-ville, permettant d'économiser d'autant les besoins de fourniture par le réseau des bâtiments équipés. Elle est surtout utilisée pour la Fourniture d'électricité dans les sites isolés, électrification rurale et pompage de l'eau (50%), télécommunications et signalisation (40%), applications domestiques (10%).[20]



Figure I.1 : Champ photovoltaïque.

Dans le second chapitre nous allons discuter profondément sur notre système photovoltaïque et sa technologie en commençant du semi-conducteur après la cellule jusqu'au mise en fonctionnement de notre panneau photovoltaïque en respectant les normes et l'environnement.

I.3.L'éolienne

L'éolienne, que l'on nomme aussi aérogénérateur, est une machine qui permet la transformation de l'énergie du vent en mouvement mécanique, puis le plus souvent en électricité. Lorsque l'on ne produit qu'une force mécanique pour actionner une pompe, on parlera seulement d'éolienne; par contre lorsque l'on produit de l'électricité, on parlera d'aérogénérateur.[27]. Plusieurs technologies sont utilisées pour capter l'énergie du vent (capteur à axe vertical ou à axe horizontal) et les structures des capteurs sont de plus en plus performantes. Outre les caractéristiques mécaniques de l'éolienne, l'efficacité de la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique est très importante. Là encore, de nombreux dispositifs existent, pour la plupart, ils utilisent des machines synchrones et asynchrones. Les stratégies de commande de ces machines et leurs éventuelles interfaces de connexion au réseau doivent permettre de capter un maximum d'énergie sur une plage de variation de vitesse de vent la plus large possible, ceci dans le but d'améliorer la rentabilité des installations éoliennes. [28].

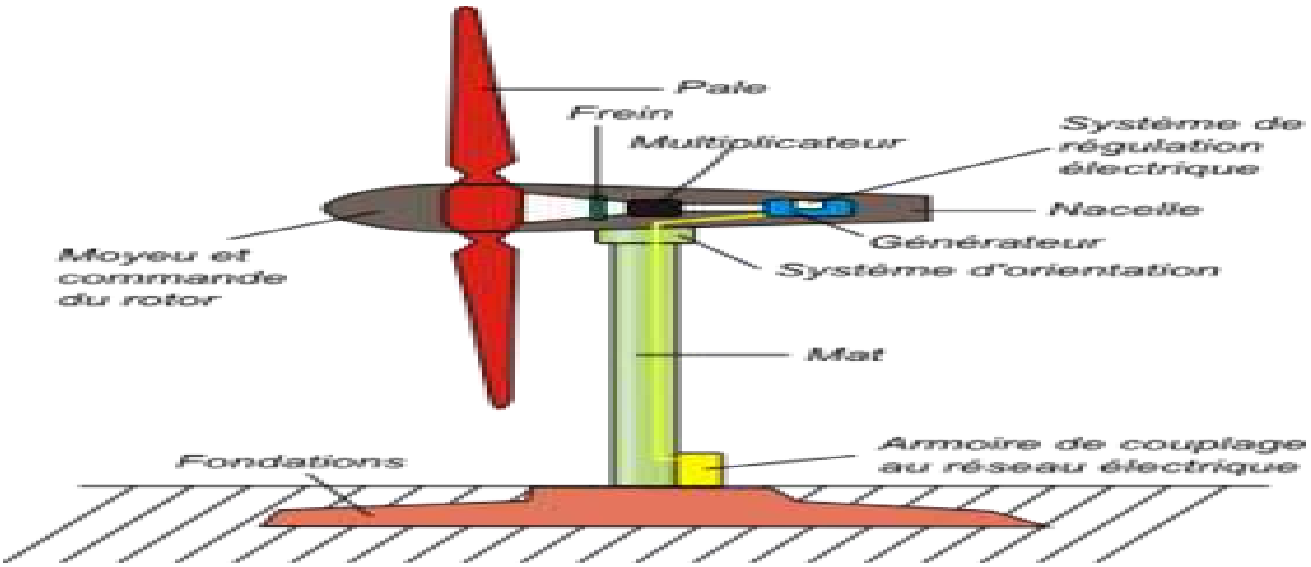


Figure I.2 : Schéma d'une éolien a axe horizontal.

-Éolienne à axe horizontal :

Les éoliennes à axe horizontal sont basées sur la technologie ancestrale des moulins à vent. Elles sont constituées de pales profilées de façon aérodynamique à la manière des ailes d'avion. Dans ce cas, la portance n'est pas utilisée pour maintenir un avion en vol mais pour générer un couple moteur entraînant la rotation. Le nombre de pales utilisé pour la production d'électricité varie classiquement entre 1 et 3. [29]



Figure I.3 : Éolien à axe horizontale. [29]

-Éolienne à axe vertical

Les éoliennes à axe vertical ont été les premières structures développées pour produire de l'électricité paradoxalement en contradiction avec le traditionnel moulin à vent à axe horizontal. Elles possèdent l'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur au niveau du sol donc facilement accessibles. De nombreuses variantes ont été testées. [29]

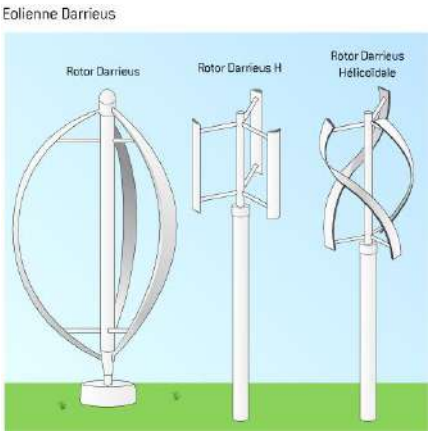


Figure I.4 : Éolien à axe verticale.

I.4. Énergie solaire thermique

Le solaire thermique actif permet de transmettre la chaleur du rayonnement solaire au sein d'un fluide, parfois de l'air, le plus souvent de l'eau, par la mise en oeuvre de capteurs solaires. Ces techniques peuvent assurer la production d'eau chaude sanitaire ou d'eau distillée, le chauffage des piscines et des habitations ainsi que le séchage. [38]

La conversion thermique est le mode de conversion qui transforme l'énergie solaire en chaleur. Cette conversion se fait à travers un capteur solaire ou capteur héliothermique dans certains cas, un fluide caloporteur (air, eau, huile…) est utilisé pour amener la chaleur produite au niveau du collecteur vers la distribution. Cette chaleur peut dans certains cas, être envoyée dans un stockeur avant d'être acheminée vers la distribution. Une isolation thermique est disposée à l'arrière et sur la périphérie du capteur pour limiter les déperditions par conduction. Différentes configurations conduisent à des types de capteurs distincts, dont les performances varient en fonction des domaines d'utilisation. [37]

Parmi les dispositifs utilisés dans l'énergie solaire thermique on distingue :

Capteur solaire plan vitré

Les capteurs solaires de type plan sont le plus couramment utilisés. Ils se composent d'un absorbeur situé dans un coffrage isolé en face arrière et constitué d'un vitrage en face avant. Cet absorbeur possède une couche sélective qui augmente la captation de l'énergie solaire tout en limitant les pertes par rayonnement. Le vitrage quant à lui évite le refroidissement de l'absorbeur par le vent et crée un effet de serre qui augmente le rendement du capteur. L'isolation à l'arrière du capteur diminue les pertes de chaleur [32]. (Figure I.5)

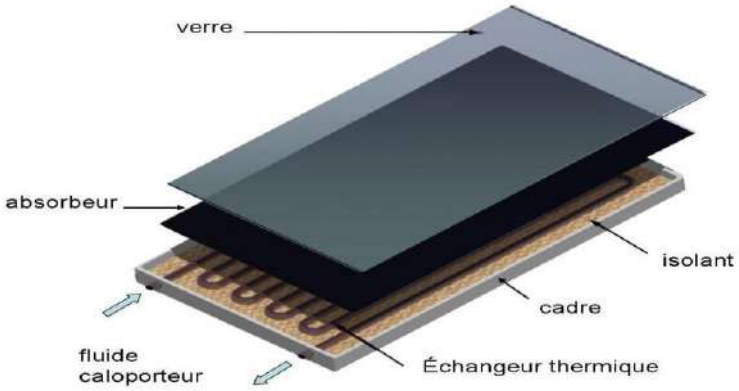


Figure I.5 : Capteur solaire plan vitré.

Un capteur moquette

Un autre type de capteur plus simple et plus économique est utilisé pour le chauffage des piscines. Appelé capteur moquette, il est simplement composé d'un réseau de tubes noirs accolés les uns aux autres [32]. (Figure I.6).

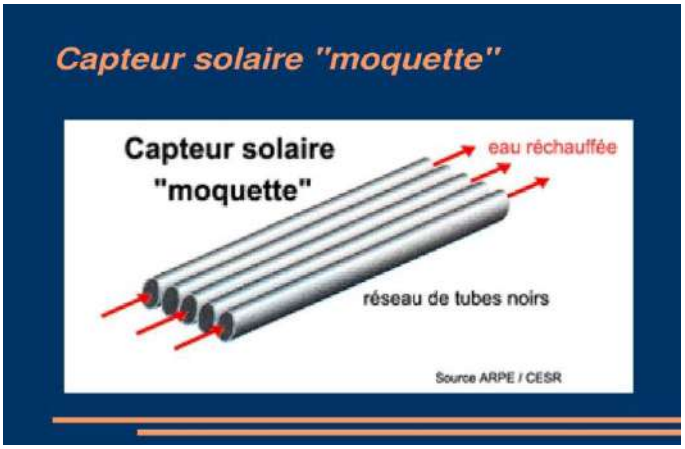


Figure I.6 : Capteur solaire moquette.

I.5. La biomasse

La biomasse est l'ensemble de la matière organique d'origine végétale, animale ainsi que ses produits de transformation (les déchets organiques). La biomasse peut être convertie en chaleur ou en électricité soit par des procédés thermochimiques soit par des procédés biochimiques. Généralement, les procédés biochimiques consistent à la fermentation de la biomasse à des fins de production d'alcool ou bien la digestion anaérobique pour la production de méthane ou d'autres gaz. Dans le cadre de ce projet de recherche, il s'agira particulièrement des procédés thermochimiques qui comptent quatre modes de conversion : la pyrolyse, la gazéification, la liquéfaction et la combustion directe qui est sans doute la technologie la plus avancée et la plus utilisée. [26] Voir (figure I.7).

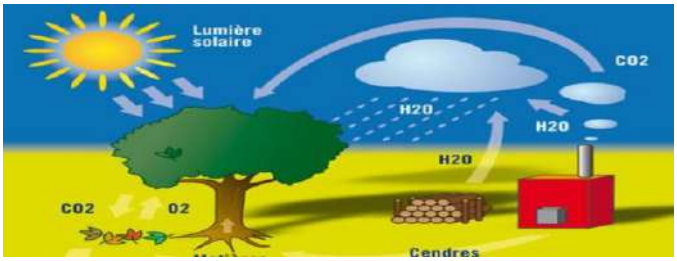


Figure I.7: Le cycle de la biomasse. [26]

I.6. Énergie hydraulique

L'énergie électrique est produite par la transformation de l'énergie cinétique de l'eau en énergie électrique par l'intermédiaire d'un rotor alternateur relié à un ensemble mécanique situé autour de la roue motrice.La quantité d'énergie extraite de l'eau retenue derrière un barrage dépend du volume d'eau et de la hauteur de chute(figure 1.13).. Cette source à l'avantage de ne pas être polluante. On peut maitriser le stockage de l'énergie d'une manière assez simple afin de débarrasser les cours d'eau des déchets grâce aux différents filtres des barrages, la technologie nécessaire pour son utilisation est maîtrisée. Le bruit, l'impact sur la vie aquatique, des installations complexées, et des sites limités pour l'exploitation sont ses principaux inconvénients. [25]

Parmi les types de l'énergie hydraulique en distingue :

- Énergie des vagues : utilise la puissance du mouvement des vagues.

-Énergie marémotrice : issue du mouvement de l'eau créé par les marées (variations du niveau de la mer, courants de marée).

- Énergie hydrolienne : les hydroliennes utilisent les courants sous marins.

-Énergie thermique des mers : produite en exploitant la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans. [23]



Figure I.8: Barrage représente une énergie hydraulique.

I.7.Production de l'hydrogène

Les piles à combustible (PAC) sont des dispositifs électrochimiques qui permettent la conversion directe de l'hydrogène en électricité. Les hauts rendements de cette technologie par rapport aux moteurs thermiques rendent cette technologie particulièrement intéressante dans le contexte de la filière hydrogène [22]. (Figure I.9).

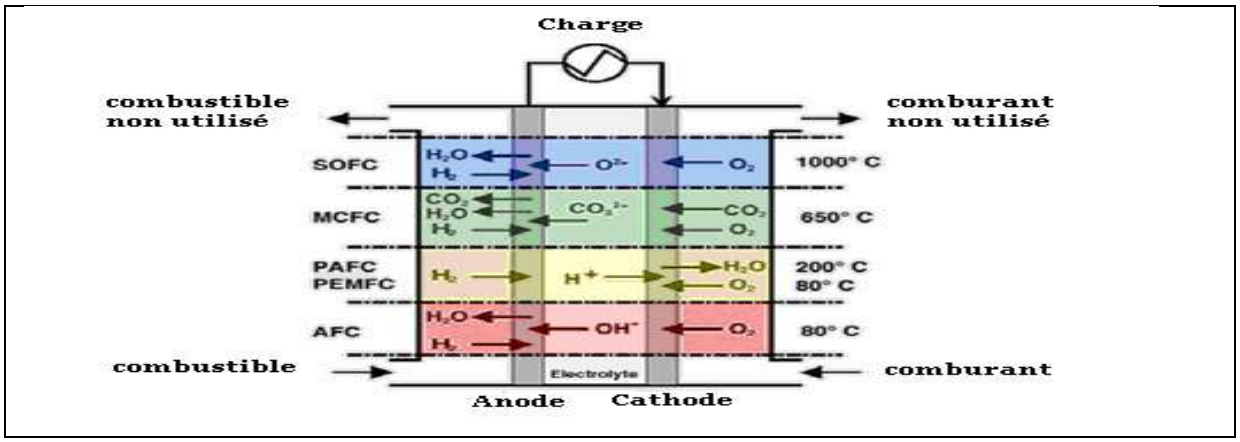


Figure I.9: Schéma de fonctionnement de différents types de pile à combustible. [22]

-Il existe plusieurs types de pile a combustible :

-SOFC (Solid oxid Fuel Cell).

-MCFC (M1olten Carbonate Fuell Cell).

-AFC (Alcaline Fuel Cell).

-DMFC (Direct Methanol Fuel Cell).

-PAFC (Phosphorique Acid Fuel Cell).

-PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell). [21]

A l'anode, se produit une réaction d'oxydation du combustible où des électrons sont libérés et circulent dans le circuit électrique. Du coté cathodique, l'oxydant est réduit et cette réaction consomme des électrons. Ces réactions produisent et/ou consomment aussi des ions qui sont transportés au travers de l'électrolyte. Enfin, les produits sont évacués par les mêmes canaux qui transportaient les gaz réactants. Ce dispositif constitue une cellule de pile à combustible. Une pile est alors l'assemblage en série de plusieurs cellules. [22]

I.8.Conclusion

Les énergies renouvelables sont une solution qui remplace le besoins des énergies connue comme les énergies fossile est les hydrocarbures. L'investissement dans cette énergies est nécessaire dans notre pays l'ALGERIE, notre pays contient toute les possibilités et les capacités naturel et humaines, le territoire Algérien et sa diversité ouvre une nouvelle et riche chance pour le développement du pays et cette énergie, les études et les expériences de cette technologie indique qu'il apporte un bon rendement et haute fiabilité dans le fonctionnement et la production d'énergie soit (électricité, chaleur, stationnaire, mobile).

Sur le plan de nature et environnement cette solution est nette et pas polluante en plus les déchets de fabrication et de fin cycle de vie des instruments sont capable de régénération pour retourner la l'état initiale.

Notre pays a tout les moyens pour s'investir dans l'énergie verte et d'autre coté il faut former des jeunes ingénieurs Algérien dans le domaine pour bien manipuler leur capacité dans la bonne voit et surmonté l'économie du pays en couvrir ses besoin d'énergie et l'exportation d'électricité a d'autre pays Européens.

Chapitre II : *La technologie photovoltaïque*

La technologie photovoltaïque

II.1. Introduction

Dans le cadre de la concrétisation du programme national algérien des énergies renouvelables, un projet de 400 MW en photovoltaïque à été lancé, faisant partie du programme complémentaire de production de l'électricité, prévu pour l'été 2014. Ce projet consiste en la réalisation de 23 centrales solaires photovoltaïques, dans la région des hauts plateaux et dans la région du sud ouest ; ainsi que dans la région du grand sud. Dans la dizaine d'années qui viendront, il est prévu la réalisation d'un parc d'énergies renouvelables de 5539 MW. L'objectif à 2030 est de 12 000 MW en énergies renouvelable pour la consommation interne d'électricité. La puissance photovoltaïque installée cumulée dans le monde a atteint 138,9 GW à la fin 2013. [11]

La fabrication du panneau PV contient un système bien organisé, simple depuis l'extraction du silicium naturel à partir de quartz, c'est une méthode simple nécessite des labos et matériel de purification. L'ouverture des centres de recherche de semi-conducteur dans le pays est important sur le plan tech-économique.dans ce chapitre en va voir les différents étapes de fabrication de panneau PV,semi-conducteurs, la technologie PV, les impacts enviremental.

L'extraction du sable à la génération d'électricité, et raccordés au réseau. Sont les principes dans notre travaille. Afin de bien comprendre les impacts sur l'environnement qu'occasionnent les systèmes photovoltaïques, il était nécessaire de présenter leur processus de fabrication : On y retrouve les étapes suivantes :

Étape 1 **:** Élaboration du silicium de grade solaire à partir du silicium métallurgique, Lui-même obtenu à partir de quartz.

Étape 2 **:** Cristallisation de ce silicium solaire pour former des plaques.

Étape 3 : Transformation de ce silicium cristallisé en composant actif pour devenir une cellule photovoltaïque.

Étape 4 **:** Assemblage des cellules photovoltaïques en module photovoltaïque.

Étape 5 **:** Groupement de plusieurs modules pour réaliser un système photovoltaïque Intégré en toiture comprenant également une structure porteuse, des composants électroniques et électriques. [6].

II.2. Les semi-conducteurs

Les semi-conducteurs sont des éléments naturels. Sensibles à la lumière visible et invisible (rayon ultra violet, infrarouge..) ; Ils conduisent le courant nettement moins bien que les métaux, mais d'autant mieux que la température est plus élevée (Exemples types : le silicium Si, le germanium Ge) La bonne conductivité électrique des métaux est due à la présence des électrons libres du gaz électronique qui parcourent tout le réseau métallique.
Les semi-conducteurs (exemple : le silicium Si) forment des réseaux atomiques (du type diamant) où les atomes sont reliés par covalence ; Il n'existe pas d'électrons libres comme dans les métaux, La migration des électrons ne peut se faire que par « petits pas », les électrons sautant d'un atome à l'autre.

Le semi-conducteur est un matériau électriquement intermédiaire entre isolant et conducteur. En effet, les valeurs usuelles de la conductivité (σ) des isolants sont comprises entre 1.e-11 et 1.e-19 S/cm et celles des conducteurs entre 6.e7 et 1.e4 S/cm. Il existe pourtant des corps qui ont une résistivité intermédiaire comprise entre 1.e3 et 1.e-6 S/cm, on les appelle des semi-conducteurs.

Dans notre étude on utilise le silicium comme un semi -conducteur et son structure atomique électrique est présentée dans la (figure II .1). [4]

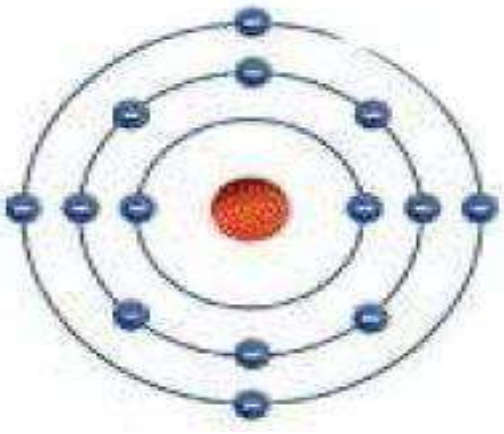


Figure II .1 : La structure atomique du semi conducteur. [4]

Un semi-conducteur non dopé est un matériau pur. En pratique, la préparation de semi-conducteurs purs est un défi technologique. Les méthodes de préparation ne permettent pas une synthèse des semi-conducteurs parfaitement purs et la présence d'impuretés en très faible densité ne change pas considérablement les propriétés électriques des semi-conducteurs.[13]

II.3.(ZnO) et son Application dans le photovoltaïque

Le domaine du photovoltaïque est aujourd'hui en pleine expansion. La nécessité de diversifier les moyens de production d'énergie a poussé ces dernières années à l'amélioration des systèmes photovoltaïques. Le ZnO possède un gap aux environs de 337 nm qui est donc situé dans le proche UV. ZnO est donc transparent dans le spectre visible. De plus, l'oxyde de zinc peut être dopé avec de fortes concentrations et on peut obtenir des conductivités électriques importantes de l'ordre de 2x10-4Ω.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. Dans une cellule photovoltaïque une couche mince de ZnO sert de contact transparent ou de couche réflectrice ou encore sert à éviter tout courant de fuite entre la couche absorbante et le contact de la cellule comme le montre l'exemple suivant d'une photopile. L'introduction du ZnO permet un élargissement de la fenêtre de capture. Ceci va permettre un accroissement du courant de court-circuit. L'augmentation du photocourant provient du fait que : Le ZnO transmet des photons dont les longueurs d'ondes sont comprises entre 380nm et 520nm. Il réduit les pertes par réflexion au-delà du spectre visible. [9]

Ce matériau accepte le dopage de différent matériau et semi-conducteur pour améliorer ces capacités physiques, conductivité, résistivité, piézo-électrique, rendement. Comme nous allons voir dans le chapitre 3 on appliquant des essais de dopage avec Fe, Cu, Mg, AL.

II.4. Méthodes d'élaboration des nanopoudres

Les procédés de production de poudres sont classifiés selon une grande variété de techniques, liées à la diversité des applications et la maîtrise certaines de leurs caractéristiques de base telles que la morphologie, la taille, la distribution en taille, la surface spécifique auxquelles s'ajoutent des propriétés propres a leurs applications (contrôle de la réactivité propriétés optiques,…). Ainsi, un nombre important de procédés a été développé, pouvant être regroupés par familles en fonction de leurs caractéristiques principales:

-La première famille rassemble les procèdes ou la poudre, obtenue a partir d'un solide préexistant, est amène dans l'état de dispersion souhaite par une étape de broyage mécanique. De manière générale, les procédés en phase solide (broyage) sont bien adaptés pour la production d'importants tonnages, mais la taille des particules peut être augmentée par agglomération ou granulation et les problèmes de contamination, limitent leur développement dans la fabrication de matériaux ultra-purs à granulométrie contrôlée.

-La deuxième famille concerne les procédés où les matériaux finement divisés sont générés au cours d'un changement d'état physique Cristallisation, atomisation Évaporation-condensation

-La troisième famille rassemble les procèdes d'élaboration mettant en œuvre une réaction chimique. [9]

II.5.Élaboration du silicium

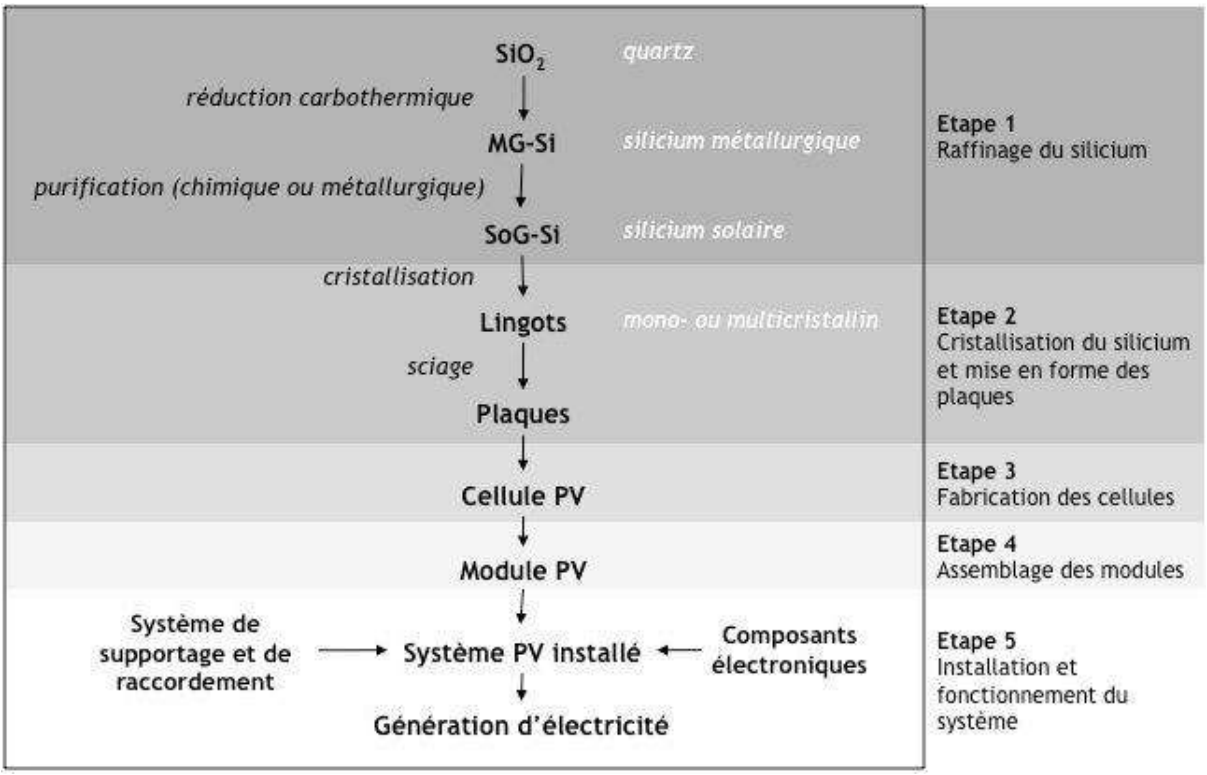


Figure II .2 : Schéma résumé des étapes de fabrication du panneau PV [6].

II.5.1 Raffinage du silicium

Le silicium, deuxième élément de la croûte terrestre, est obtenu à partir de silice ou Oxyde de silicium SiO2 contenu dans le quartz ou le sable, dont les réserves planétaires Sont abondantes.En 2006, 93% du marché photovoltaïque était encore basé sur les technologies silicium(Multicristallin, monocristallin et ruban).Sur la base d'un besoin de 15t/MW, l'industrie photovoltaïque consommerait chaque année environ 40000 tonnes de silicium pour produire 5GW de panneaux photovoltaïques dont 90% à base de silicium. D'après l'US Geographical Survey, la production de silicium au niveau mondial a été d'environ 5 millions de tonnes en 2007 : la part de l'industrie photovoltaïque représente donc un peu moins de 1% de la production mondiale. L'obtention de ce matériau arrive en fin d'un processus de raffinage que l'on peut séparer en deux grandes étapes. La transformation du quartz en silicium de grade métallurgique ou MG-Si est réalisée dans un four à arc, outil typique de

l'industrie métallurgique. La pureté du MG-Si est de l'ordre de 98 à 99%.La deuxième transformation est une purification du silicium métal en silicium de grade solaire ou SoG-Si, d'une pureté de 99,9999%. La route traditionnelle, héritée de l'électronique, utilise des réacteurs chimiques pour synthétiser le silicium polycristallin ou poly-Si. De toute la chaîne de production des modules photovoltaïques, c'est l'étape la plus consommatrice en énergie.

En raison du coût de cette étape et du fait qu'une pureté moindre peut-être tolérée, des techniques pour produire le silicium solaire à partir de nouveaux procédés chimiques mais aussi métallurgiques sont explorées Pour la filière solaire, il servira à la fabrication du silicium de qualité solaire. Les principaux fabricants sont Grupo Ferroatlantica SL, Globe Specialty Metals Inc., Elkem AS, Dow Corning Corp. et AMG Advanced Metallurgical Group NV [1,2].

II.5.2. Élaboration du silicium métallurgique

Le silicium métallurgique (MG-Si) résulte de la transformation de la silice dont on a extrait l'oxygène. Cette réaction, appelée réduction carbochimique, consiste à porter à des températures très élevées de 1900°C un mélange de quartz et d'espèces carbonées (réducteurs du type coke, houille et bois), qui vont se combiner avec l'oxygène du quartz pour donner du monoxyde puis du dioxyde de carbone. Le bois permet aussi d'espacer les matériaux.

Réduction de la silice par le carbone à 1900°C :

$$SiO2\ (s) + 2\ C\ (s) \longrightarrow Si\ (l) + 2\ CO\ (g)$$

$$2\ CO + O2 \longrightarrow 2\ CO2$$

L'énergie nécessaire à la réaction est apportée sous forme d'arc électrique par des électrodes en graphite, à l'intérieur de fours métallurgiques dits fours à arc [5]. (Figure II .4).



Figure II.3 : fours à arc.[6]

Le silicium en fusion ainsi obtenu est récupéré dans des « poches », oxygéné par insufflation d'air pour former des oxydes de calcium et d'aluminium qui vont être extraits par séparation du laitier (phase contenant des oxydes métalliques, silicates, aluminates et chaux, formés lors de la fusion). Le silicium est ensuite mis en forme par refroidissement et moulage en lingotières. Plusieurs étapes de concassage et de broyage permettent ensuite d'obtenir des billes de MG-Si de 2- 3 mm de diamètre. Un autre procédé est la granulation à l'eau. Voir (figure II.5). [6,2].



Figure II.4 : Silicium métal en fusion. [6]

La pureté finale du silicium de qualité métallurgique est de 98 à 99%, soit un taux d'impuretés d'environ 15000 ppm (Fe, Ca, Mg, Al, C, O, V, Cr, Mn…), avec comme contrainte des teneurs en bore et phosphore de l'ordre de 20 à 500 ppm.



Figure II.5 : Silicium métallurgique.[6]

Ce procédé est très énergivore, puisqu'il faut environ 14 kWh électriques pour produire 1kg de MG-Si. Les émissions de CO2 sont elles aussi très élevées : il faut compter un peu plus de 3.14 tonnes de CO2 rejetés pour 1 tonne de MG-Si produit, hors CO2 équivalent provenant de la consommation électrique. La mise en place, dans le futur, de quotas d'émissions de CO2 pourra donc être une contrainte importante pour ce procédé.D'autres procédés de production du silicium métallurgique ont été développés. Il existe notamment la réduction aluminothermique, qui consiste à extraire l'oxygène de la silice avec de l'aluminium. Elle présente l'avantage d'une faible consommation d'énergie car elle est fortement exothermique.

II.5.3. Du silicium métallurgique au silicium solaire (électronique)

Le silicium solaire (SoG-Si), ou silicium polycristallin (poly-Si) plus connu dans la filière électronique, est obtenu par la purification du silicium métallurgique et servira à la confection des lingots de silicium.

Il existe différents procédés de production de silicium de qualité solaire que l'on peut classer en deux grandes familles : la voie chimique et la voie métallurgique. Actuellement, la voie chimique occupe la quasi-totalité du marché avec deux procédés majoritaires à partir de trichlorosilane (75%) et de monosilane (25%). Elle nécessite une plus grande consommation d'énergie que la voie métallurgique, et présente l'inconvénient de la dangerosité liée à l'utilisation de produits chlorés. Elle permet d'obtenir un matériau d'une plus grande pureté, un des objectifs de la filière électronique pour laquelle elle a historiquement été développée.

II .5.3.1.Voie chimique : procédé Siemens

La méthode la plus fréquemment utilisée pour diminuer les impuretés dans le silicium, à des niveaux inférieurs au ppb (partie par milliard), est le procédé SIEMENS. Cette voie de purification est dite chimique (opposée à la voie métallurgique). Elle consiste à la réduction de trichlorosilane (HSiCl3=TCS). Le TCS est 4xN permet de quantifier la pureté d'un élément, par exemple, pour un grade de 5N sa pureté serait de à 99.9999 formé à partir d'une réaction d'hydrochloration entre le MG-Si et de l'acide Chlorhydrique (HCl) à des températures comprises entre 300-350°C :

MG-Si (s) + $3HCl\,(g) \rightarrow HSiCl3\,(g)$ + 2 H (g)

Cette réaction est également en compétition avec la formation du tétrachlorure de silicium (SiCl4=TET). Les produits de cette première étape doivent être séparés et le TCS purifié avant d'obtenir le silicium. Ce dernier est obtenu par un dépôt chimique en phase vapeur (CVD pour *chemical vapor deposition*), à haute température (≈1100°C) et en présence d'hydrogène (H2), sur des barreaux de silicium :

$$2HSiCl3\,(g) + H2 \rightarrow (s) + SiCl4(g) + 2HCl(g)$$

Le silicium est alors obtenu sous une forme polycristalline et est prêt à être utilisé pour la Cristallisation des lingots. ce type de purification est lourde à appliquer et énergivore. Cependant, l'amélioration de la technique et l'augmentation des volumes de production ont permis de réduire des coûts de production ce qui rend l'EG-Si compatible avec l'industrie photovoltaïque aussi bien en termes de coût que de performance.

II.5.3.2. Voie métallurgique : procédé Elkem

Tout l'enjeu de la voie métallurgique est de diminuer les coûts de production tout en garantissant une qualité suffisante pour les applications solaires. Plusieurs industriels et centres de recherche développent actuellement des procédés qui permettent de s'affranchir du passage par les composés gazeux, dans le but de réaliser une économie d'énergie. Les procédés métallurgiques consistent traditionnellement en une série de fusion et solidification successives permettant d'éliminer progressivement les impuretés. Selon les cas, des techniques particulières peuvent être employées.[6]



Figure II .6 : Procédé d'lkem en fabrication de silicium électronique.[6]

-Par comparaison la voie d'Elkem est la plus simple et économique que du Siemens.

II.6.Cristallisation des lingots de silicium

La méthode d'élaboration des lingots de silicium est choisie en fonction de son coût et de la qualité du matériau voulu. Dans cette partie, trois principales techniques sont présentées : la *solidification dirigée*, la méthode *Czochralski* (Cz) et la méthode de zone fondue (FZ pour *float zone*). Ce sont les techniques majoritairement utilisées dans l'industrie du photovoltaïque et de la micro-électronique.la nous indique le procédé dirigé.

II.6.1. Procédé de solidification en méthode dirigée

La *méthode de solidification dirigée* consiste à faire fondre une charge de silicium préalablement purifié dans un creuset en silice. Ce dernier est recouvert d'une couche anti adhérente de nitrure de silicium (Si3N4) séparant et limitant toute réaction entre le silicium liquide et la silice solide. La température du bain de silicium est homogénéisée, puis le creuset est progressivement refroidi du bas vers le haut. Un gradient de température se forme et un front de solidification se crée. Des grains de tailles et d'orientations différentes avec une

croissance colonnaire se développent et forment un silicium dit *« multicristallin »* (Figure II.7).

Ce type de cristallisation présente l'avantage d'être peu coûteuse. Les lingots issus de cette méthode ont des masses supérieures à 600Kg (G6).Cependant, la présence de grains avec différentes orientations cristallines et d'impuretés métalliques font du silicium multicristallin (mc-Si) un matériau avec des propriétés électriques moyennes par rapport à du silicium provenant d'une cristallisation Czochralski.[5]

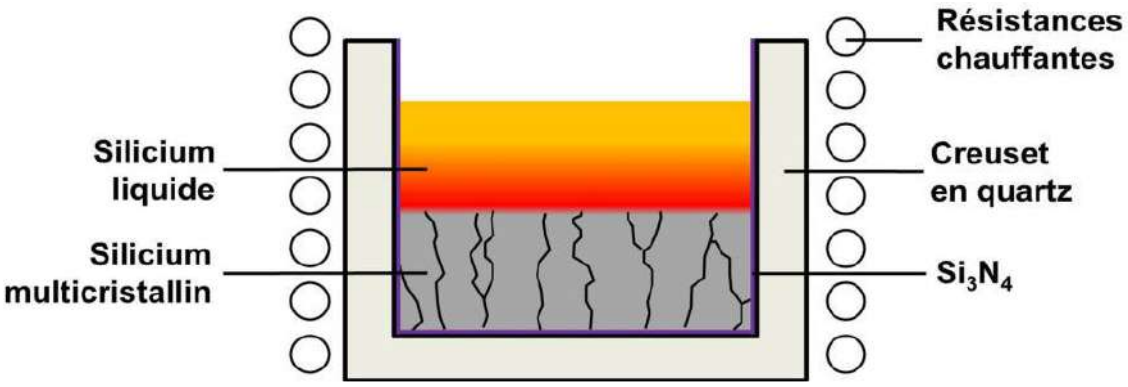


Figure. II .7 : Cristallisation d'un lingot multicristallin par solidification dirigée[5]

-Il y a d'autres procédé de cristallisation et ils sont semblable au procédé précédent comme Czochralski.

II.7.Les différents types de silicium

Le silicium cristallin est une technologie éprouvée et robuste, dont l'espérance de vie est à peu près de trente ans, dont le rendement était de l'ordre de 13 % au début de la création de cette source d'énergie. On obtient désormais des rendements atteignant plus de 20 % pour certaines technologies. Ces cellules sont adaptées à des puissances de quelques centaines de watts à quelques dizaines de kilowatts. Elles représentaient près de 80 % de la production mondiale de panneaux photovoltaïques en 2000. Le silicium cristallin se divise lui-même en trois catégories :

Mono cristallin : Tout d'abord, le silicium à l'état brut est fondu pour donner un barreau. Le refroidissement du silicium doit être lent et maîtrisé pour obtenir un mono cristal. Un wafer (tranche de silicium) est alors découpé dans le barreau de silicium. Après divers

traitements (traitement de surface à l'acide, dopage et création de la jonction P-N que nous étudierons plus tard, dépôt de couche antireflet, pose des collecteurs), le wafer devient une cellule. Son procédé de fabrication est long, exigeant en énergie et onéreux. Il est cependant plus efficace que le silicium poly cristallin car son rendement est de 17.2%.

Poly cristallin : Le wafer est scié dans un barreau de silicium dont le refroidissement forcé a créé une structure poly-cristalline. Grâce à leur potentiel de gain de productivité, ces cellules se sont aujourd'hui imposées : elles représentaient 49 % de l'ensemble de la production mondiale en 2000. L'avantage de ces cellules par rapport au silicium mono cristallin est qu'elles produisent peu de déchets de coupe et qu'elles nécessitent 2 à 3 fois moins d'énergie pour leur fabrication. Le rendement des panneaux poly cristallins est d'environ 13%.

Le silicium amorphe : Celui-ci a des coûts de fabrication bien inférieurs à ceux du silicium cristallin. Les atomes ou molécules qui constituent un matériau amorphe sont disposés aléatoirement les uns par rapport aux autres. La position relative des molécules ou atomes voisins est imposée par la nature des liaisons assurant la cohésion du solide. Les cellules amorphes sont utilisées partout où une alternative économique est recherchée, ou quand très peu d'électricité est nécessaire (alimentation des montres, calculatrices…). Elles sont également souvent utilisées là où un fort échauffement des modules est à prévoir. Cependant, le rendement est de plus de 2 fois inférieur à celui du silicium Cristallin et nécessite donc plus de surface pour la même puissance installée. Les cellules en silicium amorphe sont actuellement de moins en moins utilisées : 9,5 % de la production mondiale en 2000, alors qu'elles représentaient 12 % en 1999. [14]

II.8. Structure cristalline du silicium

Une structure cristalline est constituée d'un assemblage régulier d'atomes (Figure II.9) ; Ils mettent en commun des électrons de leur couche périphérique pour constituer des liaisons Covalentes ; La couche électronique périphérique assure la stabilité de l'atome, Elle est complète lorsqu'elle comporte 8 électrons pour atteindre la saturation (la couche périphérique ne peut en comporter d'avantage) [4].

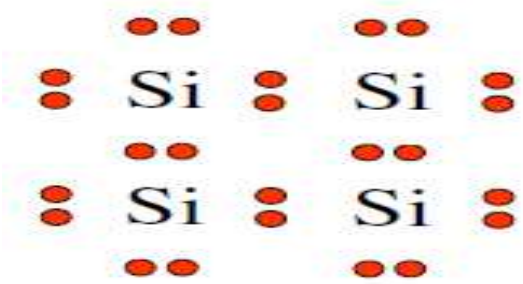


Figure II.8 : structure cristalline de silicium.

II.9.Le dopage

Le dopage est un moyen d'augmenter la conductivité électrique du corps. Les atomes du matériau de dopage, ou dopant (donneurs ou accepteurs d'électrons), et ceux de l'hôte ont un nombre différent d'électrons périphériques. Le dopage produit ainsi des particules électriques chargées positivement (type P) ou négativement (type N).

Le silicium à l'état pur est un semi-conducteur intrinsèque, avec un niveau de Fermi (EF) placé au milieu du "gap", entre une bande de valence pleine (BV) et une bande de conduction vide (BC). Vis à vis des propriétés de conduction, il est nécessaire de posséder des porteurs mobiles pour permettre l'établissement d'un courant électrique. [4, 14,15].

II.9.1 Semi-conducteur dopé N

Le dopage N consiste à ajouter au semi-conducteur des atomes possédant 5 électrons périphériques (pentavalentes) tel que le Phosphore. Quatre de ces électrons vont participer à la structure cristalline, et un électron supplémentaire va se retrouver libre et pouvoir se déplacer dans le cristal. Le semi-conducteur devient de type N, c'est-à-dire que les porteurs majoritairement présents dans la maille cristalline sont des électrons. Nous parlons de charges mobiles. Les ions + sont fixes car ils font partie de la structure atomique cristalline de la plaquette de silicium. (Figure II.10). [16]

II.9.2 Semi-conducteur dopé P :

Le dopage P consiste à ajouter au semi-conducteur des atomes possédant 3 électrons périphériques (trivalentes) tel que le Bore. Ces trois électrons participent à la structure cristalline, mais un "trou" est créé par chaque atome étranger puisqu'il lui manque un électron

périphérique. C'est-à-dire que les charges mobiles majoritaires sont des trous (positifs) dans cette région du silicium. Les "porteurs de charges électriques" mobiles sont responsables de la conduction d'une plaquette de silicium dopée [16]. (Figure II.10).

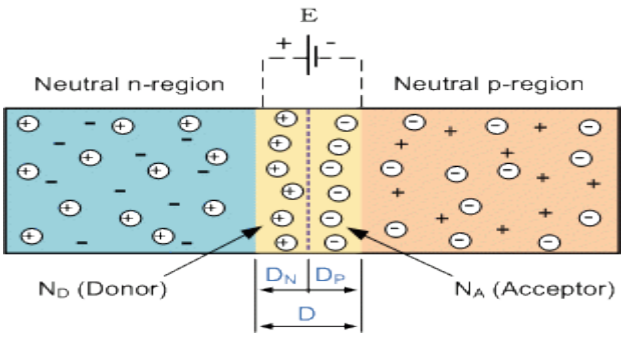


Figure II.9 : Le dopage N et P du silicium.

II.10.Cellules PV

Les lingots monocristallins et les briques multicristallines sont ensuite découpés en tranches par une scie à fil, à une épaisseur d'environ 250 µm.Une fois les plaques découpées viennent la fabrication des cellules, qui va permettre d'exploiter les propriétés de semi-conducteur du silicium et de transformer l'énergie lumineuse captée en énergie électrique.[5]Voir (figure II.11)

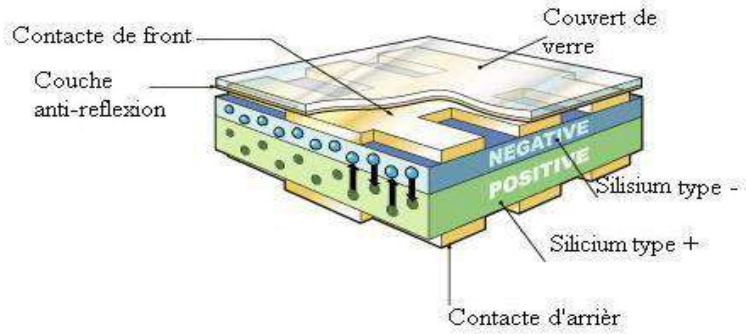


Figure II.10 : Structure d'une cellule PV.

II.10.1.Définition

Une cellule photovoltaïque est un dispositif qui permet de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. Cette transformation est basée sur les trois mécanismes suivants :

-Absorption des photons (dont l'énergie est supérieure au gap) par le matériau constituant le dispositif.

-Conversion de l'énergie du photon en énergie électrique, ce qui correspond a la création de paires électron/trous dans le matériau semi-conducteur.

-Collecte des particules générées dans le dispositif. [20]

II.10.2.Principe de fonctionnement

La cellule photovoltaïque est composée d'un composant à semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique donc le principe de fonctionnement fait appel aux propriétés du rayonnement et celles des semi-conducteurs. [25]

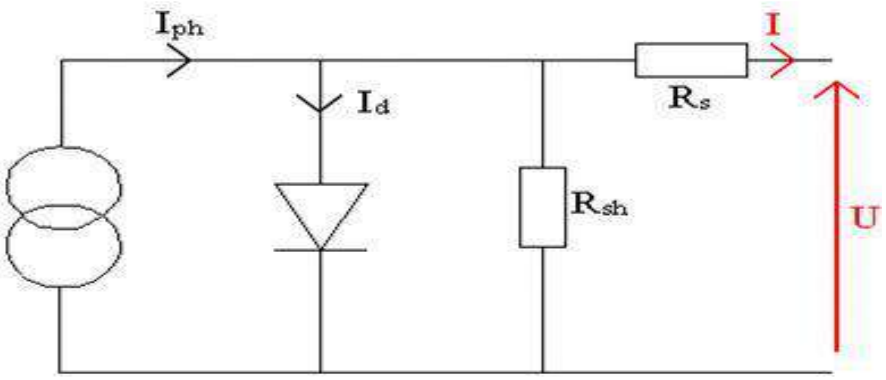


Figure II.11: représentation schématique du modèle une diode. [5]

-La diode modélise le comportement de la cellule dans l'obscurité. Le générateur de courant modélise le courant I ph généré par un éclairement.

Enfin, les deux résistances modélisent les pertes internes :

- Résistance série Rs : modélise les pertes ohmiques du matériau.
- Résistance shunt Rsh : modélise les courants parasites qui traversent la cellule.

-Idéalement, on peut négliger R s et I devant U, puis travailler avec un modèle simplifié.[5]

II.10.3. Caractérisation des cellules solaires

II.10.3.1. Mesure tension-courant sous éclairement

La mesure de courant-tension (I(V)) permet d'avoir accès aux paramètres caractéristiques des cellules solaires : la densité de courant-circuit (Jcc), la tension de circuit ouvert (Vco), le facteur de forme (FF) et, finalement le rendement de conversion cellule (η). Afin d'obtenir des courbes I(V) (figure II.12**)**, les cellules sont éclairées sous un spot lumineux simulant le spectre solaire (AM1.5). L'intensité du faisceau lumineux est fixée à 1000W/m² sous une température de 25°C (norme STC). Une tension est ensuite imposée à la cellule afin de mesurer un courant Les valeurs des différents paramètres sont extraites sous différentes conditions : La Vco correspond à la tension obtenue lorsque le Jcc est nulle et s'exprime sous la forme :

$$Vco = \frac{n1kT}{q} \ln\left[\frac{Jph}{J01} + 1\right] \quad \text{.....1}$$

- La Jcc est obtenue lorsque la Vco est nulle et correspond à la densité de courant Photogénérée (Jph) :

$$Jcc \approx Jph$$

-Le FF correspond au rapport de la puissance maximale (Pmax) délivrée par la cellule à laquelle sont associées une tension (Vm), une densité de courant (Jm) et la puissance maximale délivrée par la même cellule en l'absence des différentes résistivités (=Vco.Jcc). Il s'exprime sous la forme suivante :

$$FF = \frac{Pmax}{Vco \times Jcc} = \frac{Vm \times Jm}{Vco \times Jcc} \quad \text{.....2}$$

-Le rendement de conversion qui est la contribution de ces paramètres :

$$\eta = \frac{Pmax}{Pin} = \frac{Vco \times Jcc \times FF \times S}{Pin} \quad \text{.....3}$$

-Où S est la surface de la cellule exposée à l'éclairement et Pin la puissance lumineuse incidente. . [5]

II.11.Défauts dans le silicium

Malgré la purification du silicium et la cristallisation, ils subsistent des défauts intrinsèques liés à la maille cristalline du silicium et des défauts extrinsèques liés à des impuretés contaminants dans le c-Si.

II.11.1. Défauts dans la maille cristalline

Les défauts cristallographiques sont des anomalies dans la maille cristalline du silicium. Ils sont classés en deux catégories :

-*Intrinsèques* (int.) pour des défauts liés au silicium lui-même

-*Extrinsèques* (ext.) pour ceux liés à des atomes étrangers.

Ils sont répertoriés en quatre sous-catégories suivant leur présence dans la maille de silicium ponctuel, linéaire, surfacique et volumique. [6]

II .12.Assemblage des modules

La fonction des modules est de protéger les cellules du milieu extérieur et de faciliter leur mise en œuvre, tout en limitant le plus possible les pertes optiques et les baisses de rendement dues à l'échauffement des cellules en fonctionnement. Pour obtenir un panneau solaire, nous assemblons 48,60 ou 72 cellules solaires et les disposons soigneusement entre deux couches transparentes d'encapsulant. Nous plaçons ensuite un film sur la face arrière et chauffons cet empilement pour créer une enveloppe protectrice étanche autour des cellules solaires. Après cela, pour protéger la structure et garantir sa stabilité, nous plaçons du verre sur la face avant et un cadre en aluminium sur pourtour, en collant le tout avec un adhésif résistant à l'eau. Enfin, nous ajoutons une boîte de jonction à l'arrière du panneau solaire : il s'agit de la borne de sorite de notre électricité solaire [6].

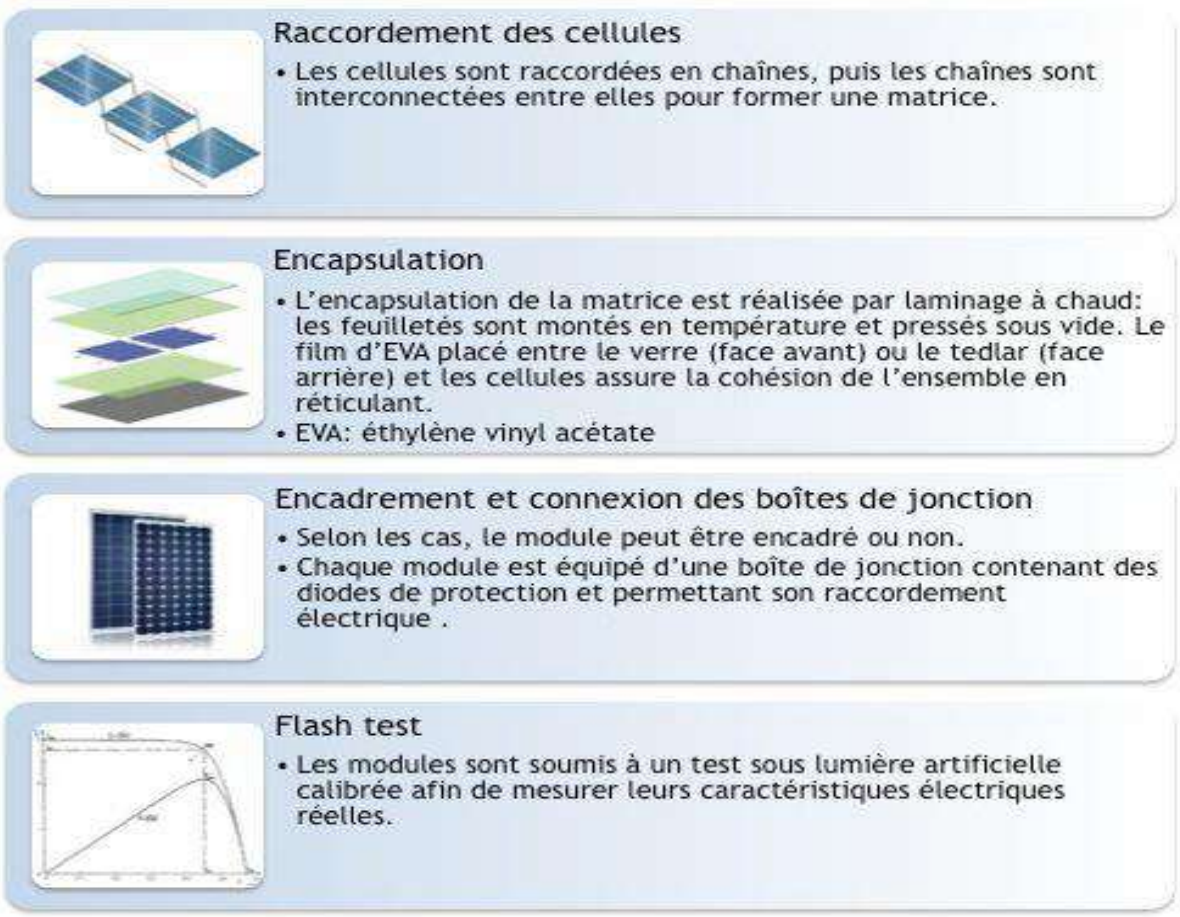


Figure II.12: Assemblage des modules photovoltaïques.

-En fin de série de fabrication on a un panneau photovoltaïques comme ce lui la de la marque condor en Algérie ce dernier respecte toute les normes mondiale de constricteur.(figure II.16)

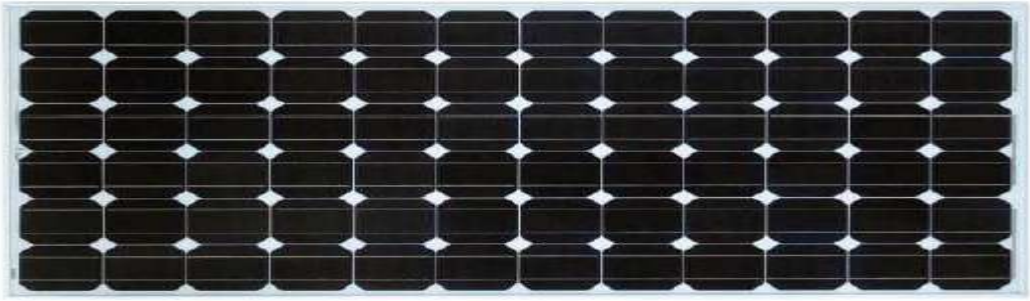


Figure II.16 : Module PV Condor type 72M [4].

II .13.Impact environnemental des systèmes Photovoltaïques

Dans ce tableau sont résumées les quantités d'énergie et de matière utilisées pour la fabrication d'un module photovoltaïque, ainsi que le type de rejets générés [1,3].

Et.	Energie finale		Matériaux	Consommables	Rejets
#	kWhe	kWht	kg	kg, L	
1	**Raffinage du silicium**				
MG-Si	pour 1 kg de MG-Si (équiv. 95 Wc)				
	14		sable : ± 3 kg	Charbon, houille, coke, bois : 2,6 kg Graphite	poussières fines
Poly-Si	pour 1 kg de poly-Si procédé Siemens (équiv. 108 Wc)				
	100	51	MG-Si : 1,13 kg	Produits chimiques : 2 kg	produits chlorés
2	**Cristallisation du silicium et mise en forme des plaques**				
Plaques	pour 1 m^2 de mc-Si à 240 um (équiv. 140 Wc)				
	30	1	poly-Si : 1,3 kg	Eau : 65 L Produits chimiques et gaz : 3,7 kg Creuset quartz : 0,4 kg Câble acier, abrasif SiC : 4,1 kg	silicium, slurry, câble, creuset
3	**Fabrication des cellules**				
Cellules	pour 156x156 mm à 285 um (équiv. 3,6 Wc)				
	0,74	0	mc-Si : 1,06 plaque	Eau : 27 L Produits chimiques et gaz : 0,06 kg Polystyrène (emballage) : 10.10^{-5} kg	gaz à effet de serre, solvants organiques, émissions fluorées, effluents acides et basiques, cellules pv
4	**Assemblage des modules**				
Modules	pour 60 cellules (équiv. 220 Wc)				
	10,7		61,2 cellules pv Al, boîte jonction, verre, EVA, tedlar, Cu, silicone	Eau : 34 L Solvants organiques : 0,035 kg Carton (emballage) : 1,75 kg	cellules pv, EVA, tedlar

Tableau II. 1 : Inventaire du cycle de vie simplifié pour des modules au silicium multicristallin.[1]

-chaque élément solide ou chimique dans la fabrication des panneaux génère un degré de pollution en va les notés [6]:

-Onduleurs : Les impacts dus aux onduleurs proviennent en grande partie de l'électronique qu'ils contiennent ainsi que des métaux utilisés pour les boîtiers.

- Silicium : Le silicium polycristallin est actuellement un enjeu important de réduction de la consommation énergétique avec la multiplication des procédés de production du silicium solaire.

-L'aluminium : est présent en petite quantité comme contact arrière des cellules photovoltaïques et en masse dans le cadre, la structure de montage et l'onduleur.

La production d'aluminium est très consommatrice en énergie et génère des émissions d'hexafluorure de soufre ou SF6, gaz à effet de serre à très haut pouvoir réchauffant (coefficient de 22 200 contre 1 pour le CO2).

-Plomb : Utilisé comme additif dans les fibres de verre contenues dans les pâtes métalliques servant à former les contacts électriques des cellules et comme additif également dans l'alliage à l'étain utilisé pour les soudures d'interconnections des cellules. Sa toxicité est à l'origine du saturnisme, maladie qui atteint le système nerveux.

-Brome : Présent comme retardateur de flamme dans les matières plastiques de l'onduleur.

- **Autres matériaux**

Enfin, certains matériaux ne présentant pas de toxicité particulière ne sont pas valorisables en fin de vie : plastiques (PVF, PET, PPOX, TPE), silicone, EVA, cartes électroniques, ou présentent des ressources limitées. [2]

II.14.Produits chimiques et rejets

-Le tableau suivant donne les différents produits chimiques toxiques et dangereux pendant la fabrication du panneau PV :

	Composés	Dangers	Protection des personnes	Polluants de l'air	Polluants de l'eau	Traitement des rejets
Etape 1. Raffinage du silicium						
silice	SiO_2	irritant	masque	poussières fines		filtres
acide chlorhydrique	HCl	toxique	extraction, équipements personnels	SiH_4, $SiHCl_3$, SiH_2Cl_2,	HCl	lavage des gaz, neutralisation des effluents liquides
hydrogène	H_2	explosif				
trichlorosilane	$SiHCl_3$	toxique				
Etape 2. Mise en forme des plaques						
slurry	PEG, SiC	--	--	--	PEG, SiC,	Sté spécialisée
Etape 3. Fabrication des cellules						
acide fluorhydrique	HF	toxique	extraction, équipements personnels de protection	HF	HF	lavage des gaz, neutralisation des effluents liquides
acide acétique	CH_3COOH	corrosif		H^+	CH_3COOH	
acide nitrique	HNO_3	corrosif		NO_x	HNO_3	
soude	NaOH	corrosif		NaOH	NaOH	
alcool isopropylique	IPA	irritant		COV	--	
trichlorure de phosphoryle	$POCl_3$	toxique		HCl	--	
tétrafluorure de méthane	CF_4	effet de serre		HF, SiF_4, COF_2, CO, F_2	--	
silane	SiH_4	pyrophorique		SiO_2	--	
ammoniac	NH_3	toxique		NH_3	--	
fibre de verre	Pb	toxique		Pb	--	
aluminium	Al			Al	--	
argent	Ag			Ag	--	
liant des pâtes métalliques	Solvants org.	irritant		COV	--	condensation et combustion

Tableau II.2 : Principaux produits chimiques utilisés pour la fabrication des cellules au silicium cristallin. [6]

II.15.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons survolé les principales méthodes de fabrication du silicium cristallin destiné à l'industrie photovoltaïque aussi la possibilité de le remplacer par d'autre semi-conducteur comme le ZnO .Trois types de matériau ont été mis en avant : le silicium multicristallin, monocristallin, amorf .La majorité des défauts liés à ces matériaux ont été décrits ainsi que leur propriété. Le dopage joue un rôle important sur l'efficacité du semi-conducteur. L'élaboration spécial et approfondit des impuretés donne des bons résultats. On a parlé aussi des matières de production et son impact enviremental.cela peut donner une nouvelle vue pour l'amélioration des caractéristiques physiques et chimiques des PV et pourquoi pas oui pour notre pays qu'il produit un panneau PV dès la matière première.

Chapitre III : Techniques expérimentales

III. Techniques expérimentales

III.1. Introduction

L'oxyde de zinc est un composé inorganique de la formule ZnO. Il est une poudre blanche qui est insoluble dans l'eau. Ce matériau est un semi-conducteur II-VI étudié depuis le milieu du 20ème siècle, il fait partie des TCO's (Oxyde transparents et conducteurs) qui sont des matériaux semi-conducteur de structure cristalline wurtzite à grand gap, transparent dans le visible et le proche infrarouge, pouvant présenter une très bonne conductivité lorsqu'ils s'écartent de leur stoechiométrie. Le ZnO présente des propriétés électroniques, électriques et optiques intéressantes.

Le choix de ZnO utilisé dans notre travail est basé sur les avantages suivants.

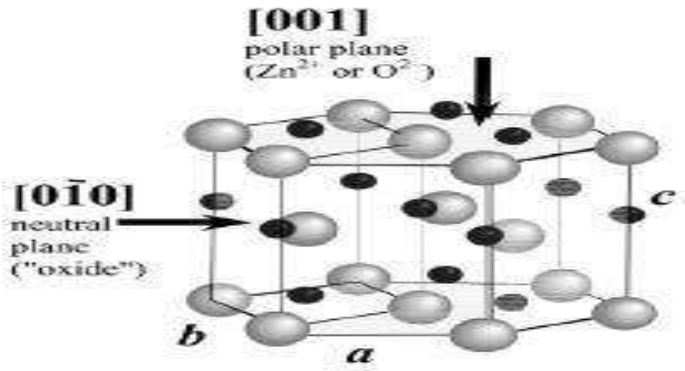
-Il n'est pas toxique.

-Il est très abondant sur la terre.

-Il est à un faible prix de revient.

L'oxyde de zinc (ZnO) offre de nombreuses possibilités d'applications actuelles. Il occupe une place importante dans l'industrie optoélectronique.[40]

Dans ce chapitre nous intéressons au dopage de ZnO et les différentes techniques de son dépôt. Le dopage de ZnO par des éléments appropriés peut améliorer ses caractéristiques optiques et accélérer la course pour ses applications pratiques [36]. En particulier le dopage du ZnO par des impurtés modifie considérablement ses propriétés physiques par le principe des méthodes chimiques notamment. Nous allons aussi présenter les différents matériaux tels que Cu, Co, Al pour le dopage des poudres de ZnO.



.

Figure III.1 : Structure hexagonale de ZnO.

Des travaux récents étudient de nouvelles mises en forme de ZnO pour les applications comme catalyseurs ou capteurs avec des bonnes propriétés chimiques. Ce nouveau matériau poreux a été obtenu à basse température dans un réacteur à cavité acoustique à partir de Zn(OH2). Le processus est basé sur le déclenchement de la réaction entre NH3 et Zn(OH2) par activation ultrasonique en milieu aqueux [34].

III.2.Voie colloïdale

L'obtention des espèces condensées en milieu aqueux à partir des sels métalliques est réalisé par la méthode dite ''Déstabilisation de Solution Colloïdale'' (DSC) ; ce procédé est basé sur la dispersion, dans un liquide, de grains ayant un diamètre inférieur à 1000Å. Ces grains sont généralement obtenus par précipitation contrôlée à partir d'une solution homogène de sels des métaux correspondant aux oxydes souhaités. L'absorption d'électrolyte tel que HNO3, HCl, NH4OH…induit une charge de surface de même signe sur les particules, ce qui permet leur maintient en suspension par répulsion électrostatique mutuelle, on obtient un sol qui sera converti en gel par diminution de volume disponible pour les particules (déstabilisation des particules colloïdales). Au cours de la gélification la viscosité du milieu croit jusqu'au blocage total des particules ainsi un gel de réseau tridimensionnel est formé, emprisonnant une phase interstitielle liquide. [10]

III.3.Le procédé sol-gel

Depuis des millénaires le verre est fabriqué par **fusion** d'un sable de silice auquel on ajoute des fondants tels que la soude (Na2CO3), la potasse (KOH) ou la chaux (CaOH2). De nouvelles méthodes de synthèse et d'élaboration se sont développées au cours des dernières années aussi bien dans les laboratoires de recherches que dans les centres industriels. Connu sous le nom de procédé **sol-gel,** celle-ci permet d'obtenir des verres, sans passer par la fusion, par simple polymérisation de précurseurs moléculaires en solution. Les procédés sol-gel offrent aux verriers la possibilité de développer des méthodes d'élaborations originales, particulièrement performantes pour le dépôt de revêtements. Les réactions de polymérisation mises en jeu dans ces procédés permettent de synthétiser des verres et des céramiques hybrides organo-minéraux, matériaux totalement originaux. Ces composés sont destinés à de nouvelles applications dans des domaines faisant appel à des matériaux à fonction spécialisée.

Le sol, l'abréviation de solution, est une suspension colloïdale, constitue d'une phase solide, de granulométrie comprise entre un nanomètre et un micromètre, dispersée dans un liquide. La stabilité rhéologique de cette dispersion est généralement assurée par la présence d'une charge électrique de surface qui est imposée par les conditions catalytiques du milieu réactionnel (stabilité par effet électrostatique).

Le gel est un état intermédiaire entre un liquide et un solide, qui se forme à partir d'un sol par augmentation de la concentration dispersée. La transition sol-gel est accompagnée d'un accroissement de viscosité, en créant un réseau tridimensionnel qui emprisonnera le solvant.[9]

III.4.Les conditions expérimentales

La préparation des poudres à l'échelle nanométrique nécessite un contrôle des conditions expérimentales jusqu'à l'obtention des paramètres optimaux. Les paramètres importants sont :

-La concentration des précurseurs chimiques.

-La température du bain.

-La durée de la formation du gel.

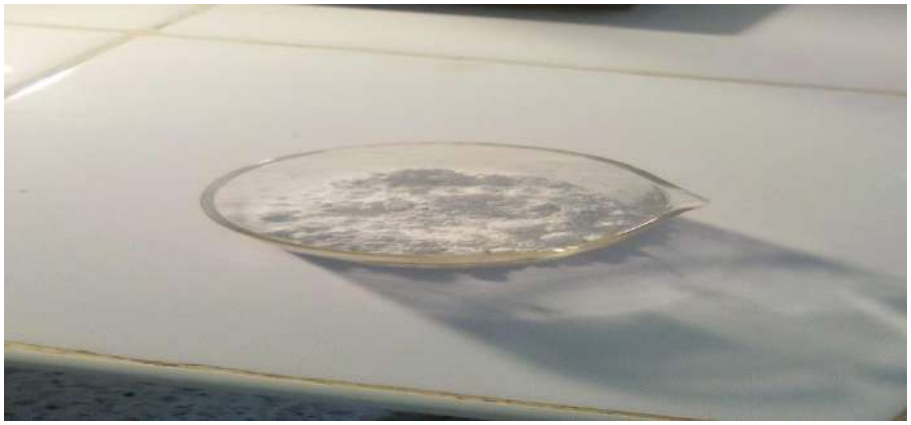
-La température de la calcination.

-La durée de la calcination. [9]

III.5. Étape d'élaboration du ZnO avec le Cu

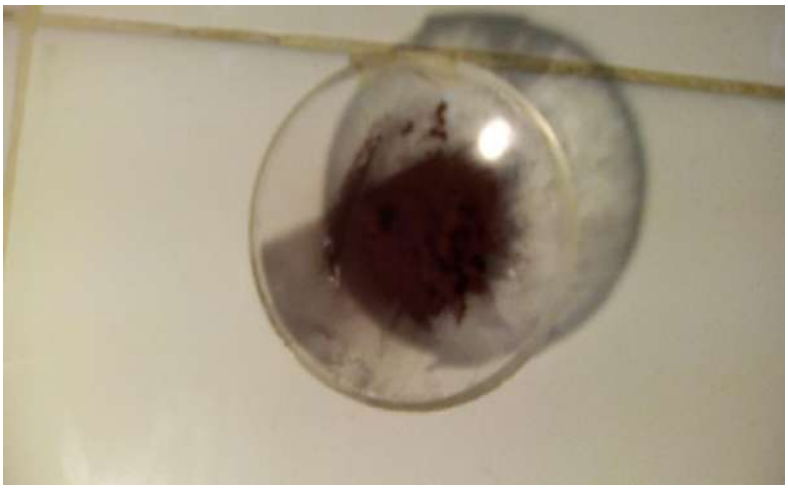
On prépare nos produit chimique d'abore dans a un mélange du ZnO et Cu de 15g ou on a le ZnO occupe 97% du mélange ,le reste 3% est pour le Cu, en ajoute 50ml NHO3 jusqu'à obtenir une solution homogène de couleur bleu.

-On prépare la poudre de ZnO 14.55g. Voir (figure III.2)



-Figure III.2: poudre du ZnO 14.55g.

-La poudre de Cu 0.45g c'est-a-dire 3% du mélange.



-Figure III.3 : poudre du Cu.

-En ajoute le HNO3 il est un électrolyse pour avoir une solution homogene.les particules va s'attacher et former une structure cristalline du semi-conducteur dopé. On l'ajoute prudemment car il est toxique en distingue une effervescence suivi d'une évaporation de vapeur rouge, cette procédure est mise sous la haute pour absorber les fumés rouge HNO3 .le résultat en fin est une solution de couleur bleu. Voir (figure III.4).



Figure III.4.1: mélange du ZnO avec le Cu quelque goûte de HNO3.



- Figure III.4.2 : solution du ZnO et et Cu et HNO3.

-pendant le séchage la couleur de la solution se change vers le blanc et le sol-gel est une forme de ZnO dopé par le Cu .le graff ci-dessus indique la viscosité du sol -gel et sa constante élastique sous la température de 200c et vitesse d'agitation de 200tr/min. Le temps dépassé est environ 4h.

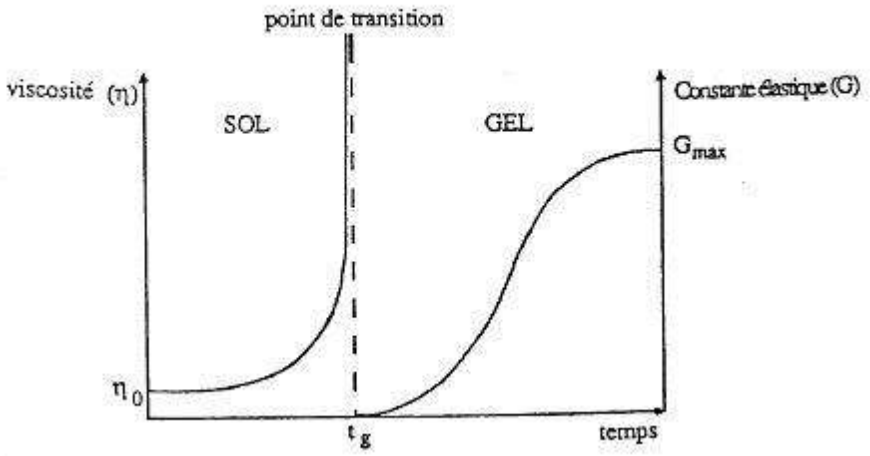


Figure III.5 : Évolution de la viscosité de la solution et de la constante élastique du gel.[9]

-le sol-gel produit après la réaction est comme vous voir dans la figure ci-dessus.

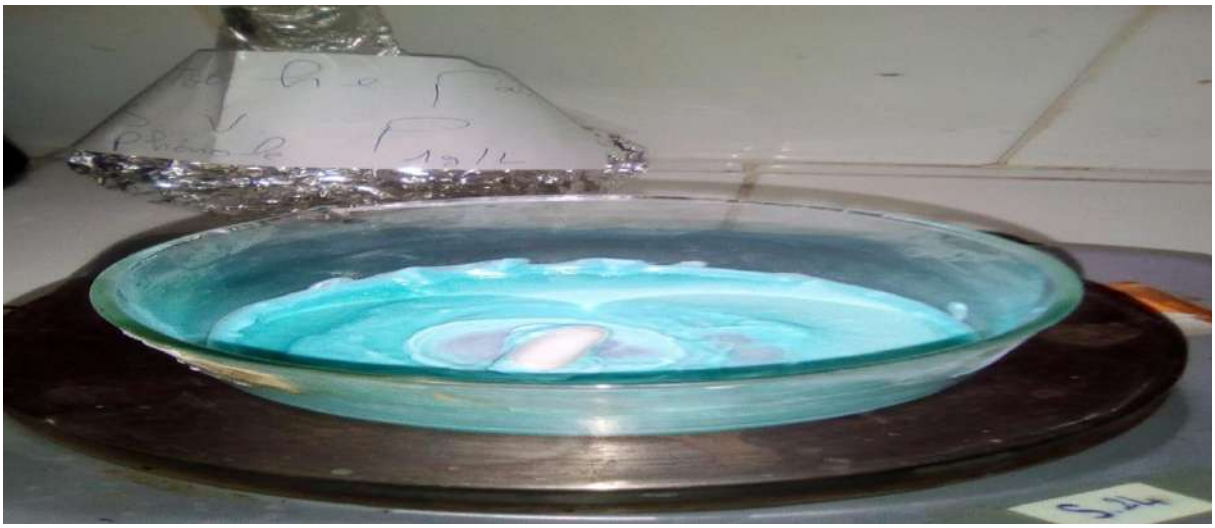
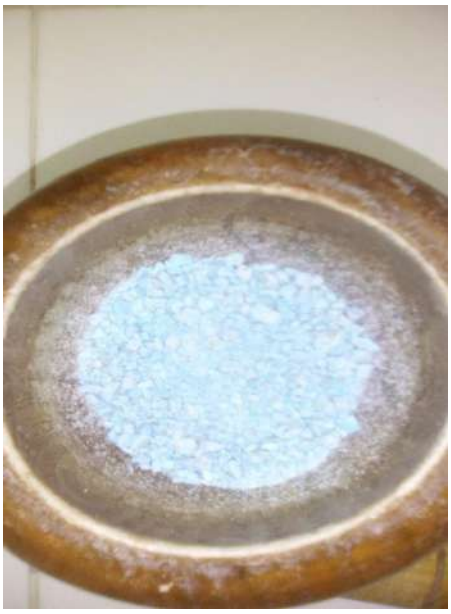


Figure III.6 : (pate blanche) sol-gel du ZnO avec le Cu et HNO3.

-le sol-gel sous l'effet de refroidissement va solidifier est prend la forme d'une pate blanche. Cette pate est fragmentée à des petites particules nommé nano-poudre de granométrie nanomètre ou micromètre.

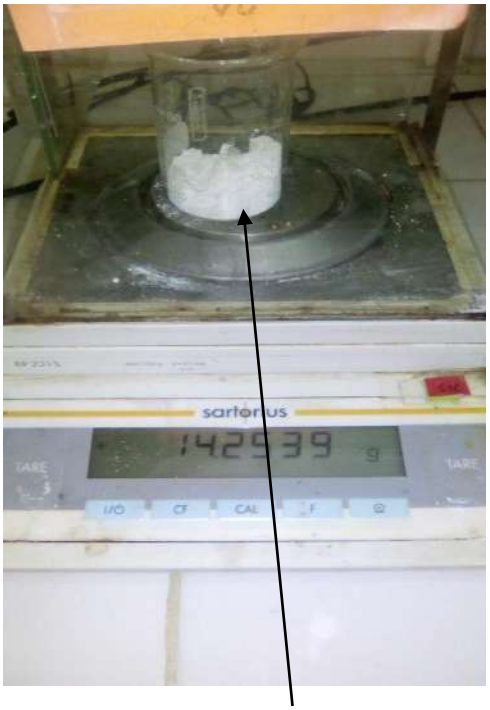




- Figure III.7.1 : pate blanche solide du ZnO avec Cu / -Figure III.7.2 : poudre du ZnO dopé avec Cu.

III.6. Dopage de ZnO par Aluminium (Al)

-Par la même méthode chimique en ajoutant 5% de la quantité totale de la poudre préparé : donc 0.75g d'Al et 14.25g de ZnO comme indiqué dans les figures ci-dessus.



- Figure III.8.1 : poudre de ZnO 95%.

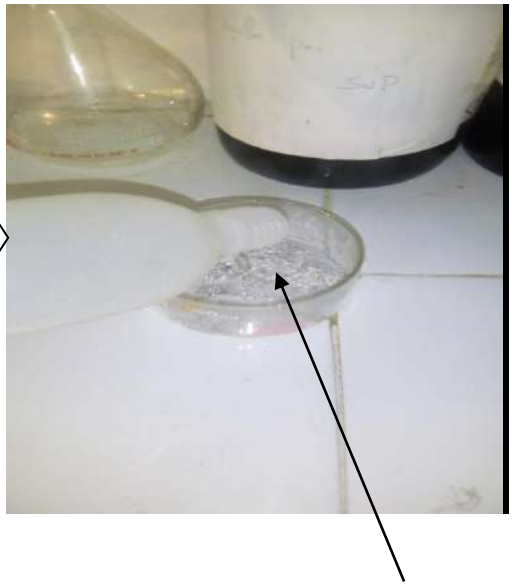


- Figure III.8.2 : poudre de Al 5%.

-En mélange les deux poudre et en ajoute un précurseur qu'il est HNO3 pour avoir une solution homogène est pour bute de recombiner les molécules ZnO et Al. Comme vous voir dans les figures suivantes.



- Figure III.9.1: Mélange du ZnO et Al.



- Figure III.9.2: L'ajoute de HNO3.

-Après quelque minutes la couleur du mélange se change vers le rouge et en remarque le dégagement des vapeurs rouge qu'ils sont toxique et en le met sur un agitateur sur 200c et 200tr/min.les fumés rouge se continue jusqu'à le séchage de la solution.



-Figure III.10.1 : La solution du ZnOAl + l'acide nitrique HNO3.

-Quelque heures après le mélange va se séché et se changer d'état vers une pate visqueuse de couleur crème comme ça.



-Figure III.10.2: Pate visqueuse ZnO-Al.

III.7.Dopage de ZnO par Cobalt Co

-Par la même méthode précédente et dans les mêmes conditions de température, agitation, broyage en appartient ZnO dopé avec le cobalt.



cobalt+14.25g du Zno

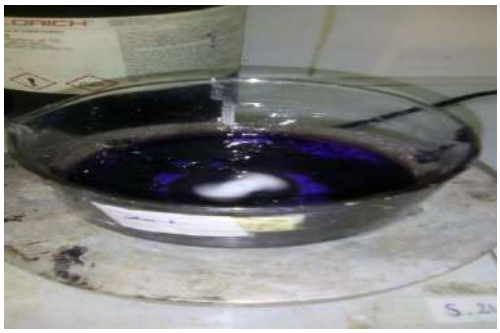


-Figure III.11.1 : Poudre de cobalt 0.75g. -Figure III.11.2: mélange du Cobalt+ZnO

. .

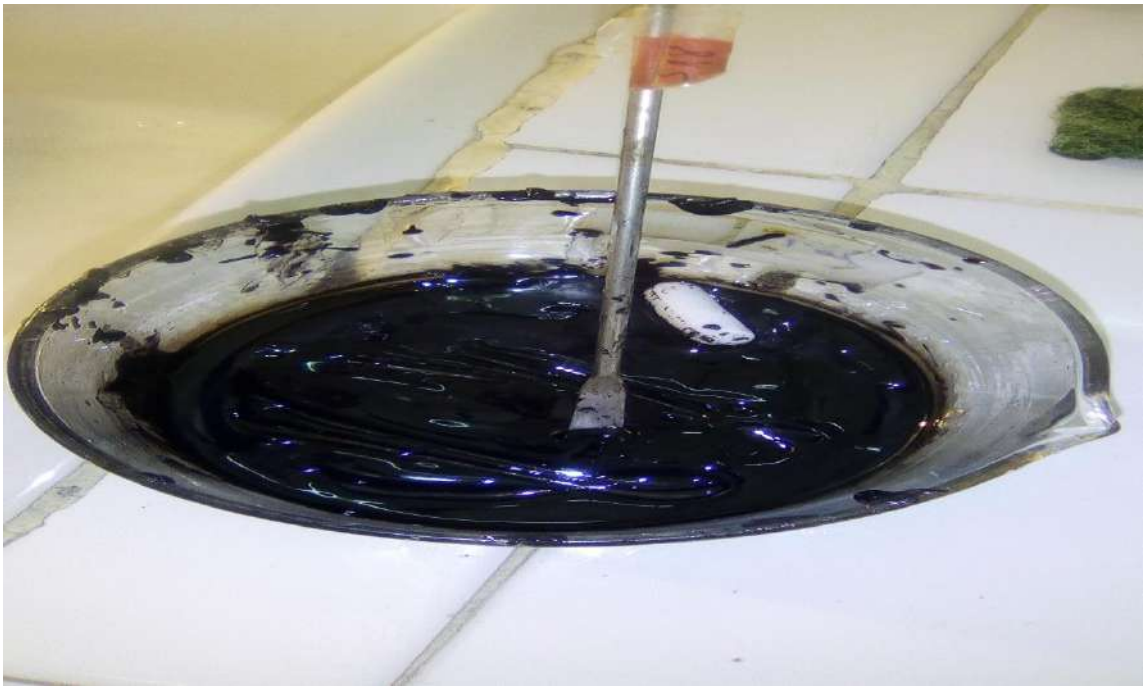
-En ajoute de l'acide nitrique HNO3.

-placer la solution sur l'agitateur après quelque minute en obtient un mélange de couleur bleu nuit avec le dégagement des fumés rouge viennent de HNO3.(Figure III.12)



-Figure III.12 : séchage du mélange et changement d'état vers un gel de couleur bleu.

-Après l'environ de 4h nous obtient un gel ou (pate) couleur noir comme celui-ci.



-Figure III.13 : la pate de ZnO-Co.

-Le résultat du mélange est séché jusqu'à il devient une pate solide puis il est broyé pour avoir une poudre de couleur grise. (Figure III.14)



-Figure III.14.1: pate ZnO-Co.



-Figure III.14.2: poude ZnO-Co.

III.8.La structure final des poudres dopé a la fin de calcination

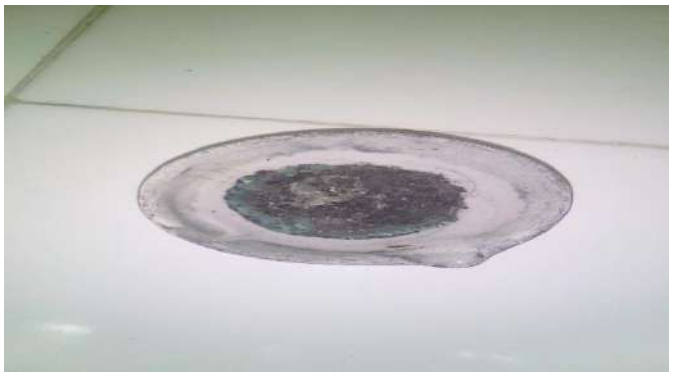
-Pour le séchage des poudres de ZnO dopé avec Al ,Cu,Co.On mets ces derniers dans un four a haute temperature de 500 c° dans une période de 3h pour la calcination et élminer le precurseure HNO3 totalement et les vapeurs d'eau .les resultats sont des echantillons de ZnO dopé avec différents matéraux.un simple broyage est fait pour avoir des poudres.(figure III.15) suivante



-Figure III.15.1 :Echantillon ZnO-Al.



-Figure III.15.2:Échantillon ZnO-Cu.

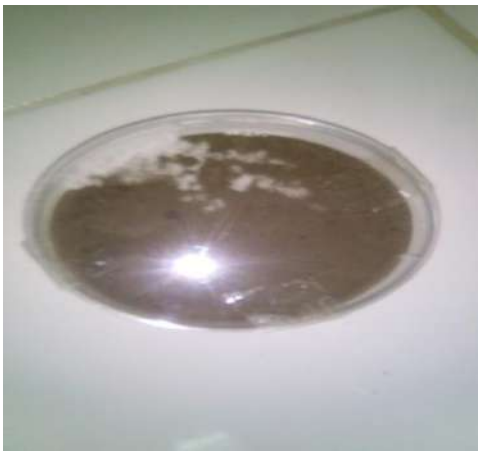


-Figure III.15.3: Echantillon ZnO-Co.

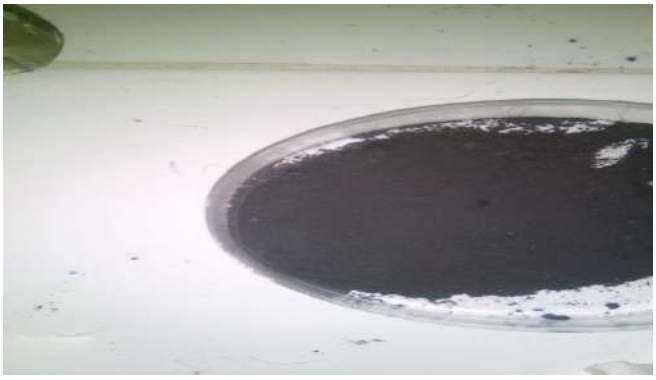
-après cette étape les matériaux sont broyé pour devenire poudre très légère,le poid de ces poudre se diminue a cause d'évaporation de l'eau et HNO3.(Figure III.16)



- Figure III.16 : poudre ZnO-Al.



-pouder ZnO-Cu



-Poudre ZnO-Co.

III.9.Les échantillons des poudres dopées

-Les trois dernier matériaux doivent menté sur des moules et des lames en vert pour permettre calculer leur condictivité et absorbtion contre la uv avec des machines spécials comme le condictometre,l'apareille de l'infra-rouge.voir les figure suivante.

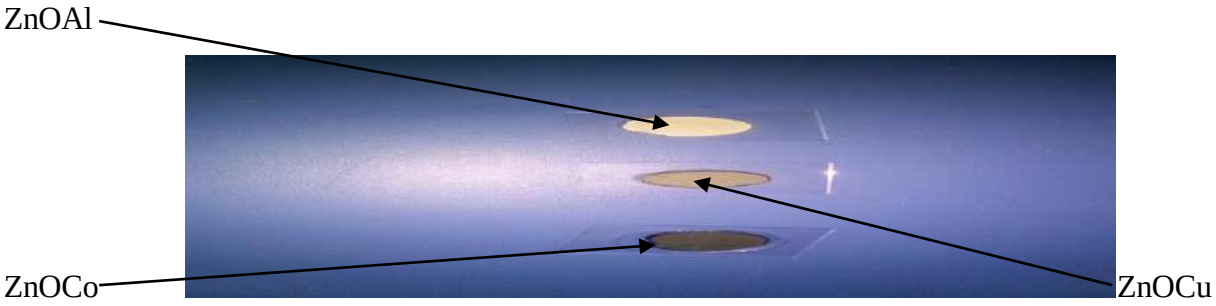


Figure III.17 : Les échantillans du ZnO dopé en Cu,Al,Co.

III.10.Conclusion

On a réalisé se tarvaille dans le babo de chimie 2,pour l'obtention de ZnO dopé en Cu,Al,Co.j'ai suivie la méthode chimique conseillé par mon copromoteur pour obtenir le résultat final des poudre de ZnO dopés. nous somme interisset de se coté parsque la matiere premiere jeue un role très important à la prépartion de tout les matériaux pour avoir un produit solide durabe,efficase et bon rendement.dans le chapitre 4 nous allons testé les caractéristique physique et optique de ZnO dopé par ces matériaux.

Aujourd'hui, l'enjeu scientifique et technique se situe au niveau de l'élaboration de nanopoudres, où la diminution en taille des particules vient en priorité. L'oxyde de zinc est un semi-conducteur à large bande interdite (3,37 eV à la température ambiante) et une importante énergie de liaison des excitons (60 meV) avec une conductivité naturelle de type n. Ces trois propriétés font de ZnO un bon candidat pour des applications technologiques telles que les diodes laser et les diodes émettrices de lumière (UV, violette et bleue). Aussi, le ZnO est un matériau piézoélectrique, il est transparent dans le visible, il possède une mobilité électrique élevée et une forte luminescence à la température ambiante [35].

Actuellement, l'intérêt pour le ZnO est particulièrement conséquent car se matériau trouve ses applications dans de nombreux domaines.ont peut notamment citer les diodes laser, les nano générateur, les photos détecteur, les cellules solaire,encore les oxydes transparents conducteurs de type n .Si le ZnO autant utilisé, c'est grâce a ses propriété physico-chimiques.[39]

Son application dans les cellules photovoltaïques c'est que nous somme concerné dans ce travaille.

Chapitre IV : Résultats et Discussions

IV. Introduction

Après l'élaboration de l'oxyde de Zinc en poudre sur des substrats en verre, nous avons effectué une analyse structurale en utilisant la diffraction des Rayons x et les caractérisations optiques par la technique UV-Visible, les caractérisations Infrarouge. dans ce chapitre nous allons discuter les propriétés structurales et optiques de ZnO nous allons présenté l'absorption et la transmission de ZnO dopé par nos différents métaux ZnOAl, ZnOCu, ZnOCo.
Les résultats sont présentés par des graffs et des tableaux nous allons les commentés et les analysés.

Aujourd'hui, l'enjeu scientifique et technique se situe au niveau de l'élaboration de nanopoudres, où la diminution en taille des particules vient en priorité. L'oxyde de zinc est un semi-conducteur à large bande interdite (3,37 eV à la température ambiante) et une importante énergie de liaison des excitons (60 meV) avec une conductivité naturelle de type n. Ces trois propriétés font de ZnO un bon candidat pour des applications technologiques telles que les diodes laser et les diodes émettrices de lumière (UV, violette et bleue). Aussi, le ZnO est un matériau piézoélectrique, il est transparent dans le visible, il possède une mobilité électrique élevée et une forte luminescence à la température ambiante [35].

IV.1.Propriété de ZnO

IV.1.1.Propriétés optiques et luminescence

L'interaction de la lumière avec la matière (électrons du matériau) peut expliquer les propriétés optiques. Indique quelques propriétés optiques de ZnO. L'oxyde de zinc est un matériau transparent dont l'indice de réfraction sous la forme massive est égal à 2 . Par ailleurs sous forme de couche mince, son indice de réfraction et son coefficient d'absorption varient en fonction des conditions d'élaboration. L'indice de réfraction a une valeur qui varie entre 1,90 et 2,20 suivant les auteurs . L'amélioration de la stœchiométrie de ZnO conduit à une diminution du coefficient d'absorption et à une augmentation de l'énergie de la bande interdite. [40]

IV.2. Spectre d'absorbance de ZnO dopé Al



Figure IV.1 : Spectre d'absorbance de ZnO dopé en Al 5%.

Nombre d'onde (cm^{-1})	Attribution des bandes	**Absorbance (Al)**
493	Bande ZnO	2.38
2353	Élongation asymétrique de C=O (molécule CO_2)	1.4
1496	Élongation C-O (monoxyde de carbone)	1.1
3479	Vibration d'élongation O-H (molécules H_2O)	1.7
3448	Vibration d'élongation O-H (molécules H_2O)	1.7

Tableaux IV.1 : Attribution des bandes IR observée pour ZnO dopé 5 % de Al (pour les valeurs, voir Figure IV.1).

Le spectre d'absorbance montré dans la (Figure IV.1) indique une absorption maximale à 493 cm^{-1}, qui est attribué à liaison Zn-O. ce résultat est en bon accord avec une étude précédente réalisée sur ZnO pur.

-La bande observée à 2353 cm^{-1} est attribuée au mode d'élongation asymétrique C=O de la molécule de dioxyde de carbone.

-La bande observée à 1496 cm^{-1} est attribuée au mode d'élongation C-O de la molécule de monoxyde de carbone).

-Une autre bande localisée vers 3448 cm^{-1} est attribuée à la- vibration d'élongation O-H la molécule d'eau (stretching mode). Ces toirs dernières bandes sont dues aux conditions expérimentales de la préparation des échantillons, car l'expérience a été réalisée à l'air ambiant (présence des molécules, CO, CO_2 et H_2O)

IV.3.Spectre d'absorbance ZnO dopé Cu

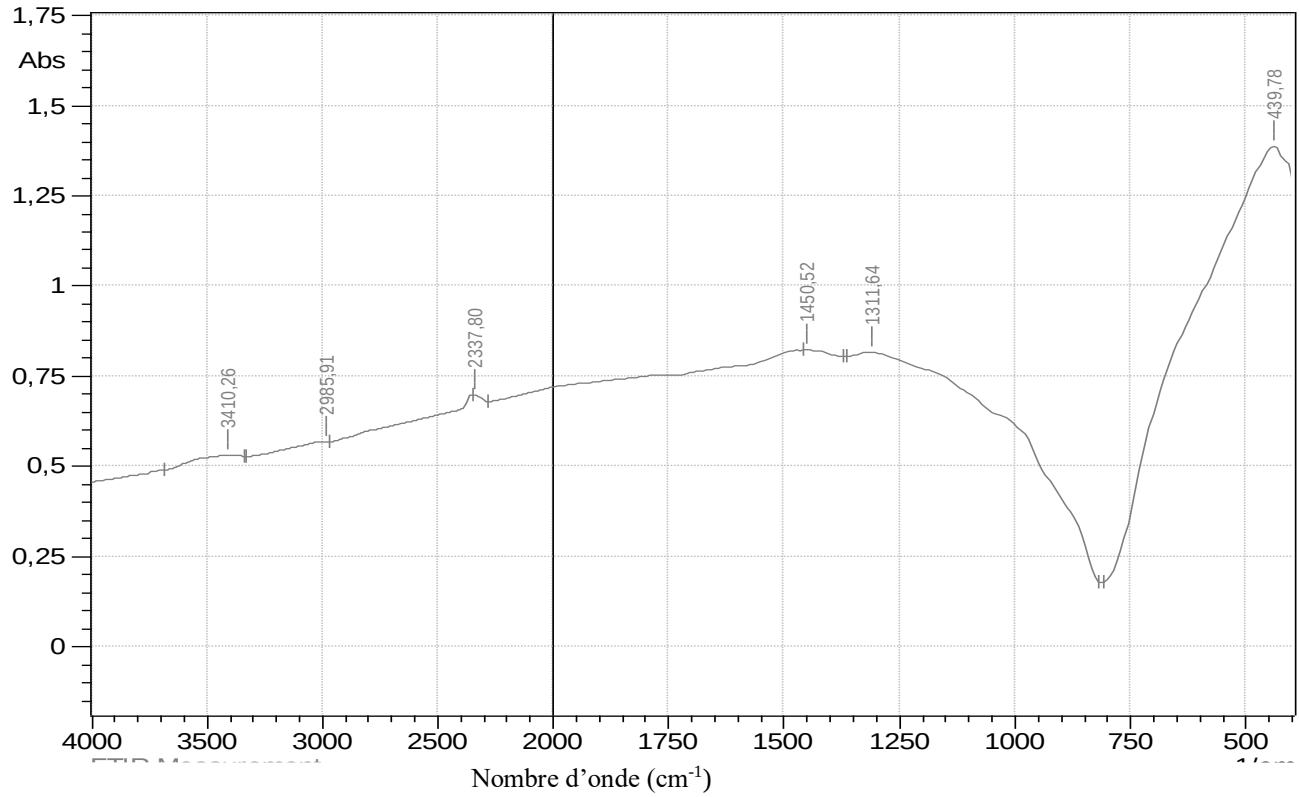


Figure IV.2 : Spectre d'absorbance de ZnO dopé Cu 3%.

Nombre d'onde (cm^{-1})	Attribution des bandes	**Absorbance (Cu)**
439.78	Bande ZnO	1.375
2337.80	Elongation asymétrique de C=O (molécule CO_2)	0.7
1450.52	Élongation C-O (monoxyde de carbone)	0.825
3410.25	Vibration d'élongation O-H (molécules H_2O)	0.525

Tableaux IV.2.:Attribution des bandes IR observée pour ZnO dopé 3% de Cu (pour les valeurs, voir Figure IV.2).

-Le spectre d'absorbance montré dans la (Figure IV.2) indique une absorption maximale à 439.78 cm^{-1}, qui est attribué à liaison Zn-O. ce résultat est en bon accord avec une étude précédente réalisée sur ZnO pur .

- La bande observée à 1450 cm^{-1} est attribuée au mode d'élongation C-O de la molécule de monoxyde de carbone).
- La bande observée à 2337.8 cm^{-1} est attribuée au mode d'élongation asymétrique C=O de la molécule de dioxyde de carbone.
-Ces toirs dernières bandes sont dues aux conditions expérimentales de la préparation des échantillons, car l'expérience a été réalisée à l'air ambiant (présence des molécules, CO, CO_2 et H_2O)
-C'est semblable au première bande de ZnO dopé en Al.

IV.4.Spectre d'absorbance ZnO dopé Co

Le spectre d'absorbance montré dans la (Figure IV.3) indique une absorption maximale à 447.5 cm^{-1}, qui est attribué à liaison Zn-O. ce résultat est en bon accord avec une étude précédente réalisée sur ZnO pur.

- La bande observée à 1512.24 cm^{-1} est attribuée au mode d'élongation C-O de la molécule de monoxyde de carbone).
- La bande observée à 2322.37 cm^{-1} est attribuée au mode d'élongation asymétrique C=O de la molécule de dioxyde de carbone.

Une autre bande localisée vers 3734.31 cm^{-1} est attribuée à la- vibration d'élongation O-H la molécule d'eau (stretching mode). Ces toirs dernières bandes sont dues aux conditions expérimentales de la préparation des échantillons, car l'expérience a été réalisée à l'air ambiant (présence des molécules, CO, CO_2 et H_2O)

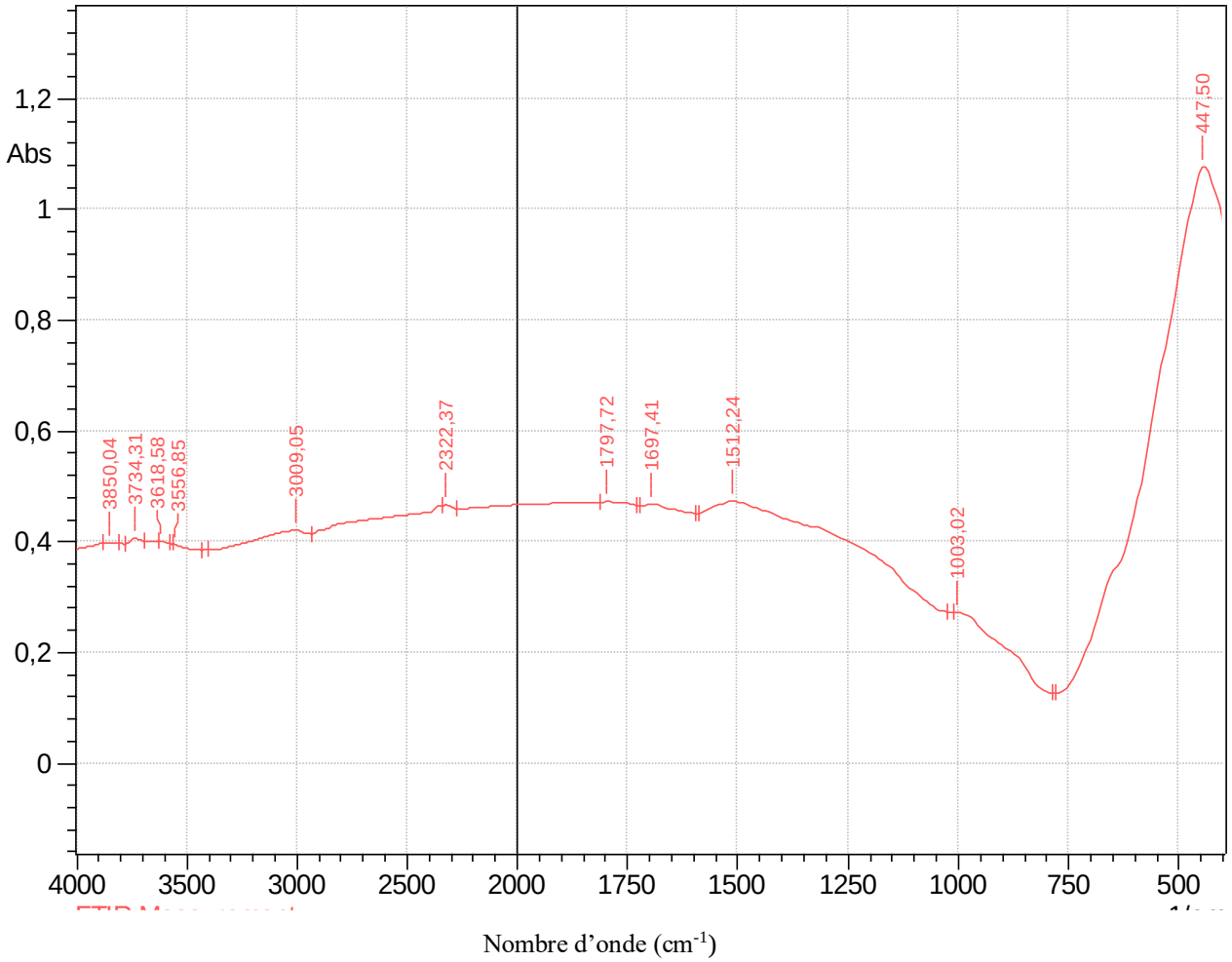


Figure IV.3 : Spectre d'absorbance de ZnO dopé en Co 5%.

Nombre d'onde (cm^{-1})	Attribution des bandes	**Absorbance**
447.5	Bande ZnO	1.08
2322.37	Élongation asymétrique de C=O (molécule CO_2)	0.47
1512.24	Élongation C-O (monoxyde de carbone)	0.46
3734.31	Vibration d'élongation O-H (molécules H_2O)	0.401

Tableaux IV.3.:Attribution des bandes IR observée pour ZnO dopé 5% de Co (pour les valeurs, voir (Figure IV.3).

IV.5. Comparaison des spectres d'absorbance

(La Figure IV.4) montre une comparaison entre les spectres d'absorbance des trois échantillons, ZnO dopé Al, ZnO dopé Cu et ZnO dopé CO. On peut constater que tous les spectres se comportent de la même façon, tel que les bandes la plus intenses sont observées aux 493, 439 et 447 cm^{-1}, respectivement. Comme nous l'avons déjà mentionnée, ces bandes ont été toutes attribuées à la liaison Zn-O.

Il est évident que la position de cette bande est dépond fortement de la nature du dopant, et le déplacement de cette bande peut être expliqué par les effets des interactions interatomiques sur les modes de vibration de la bonde ZnO.

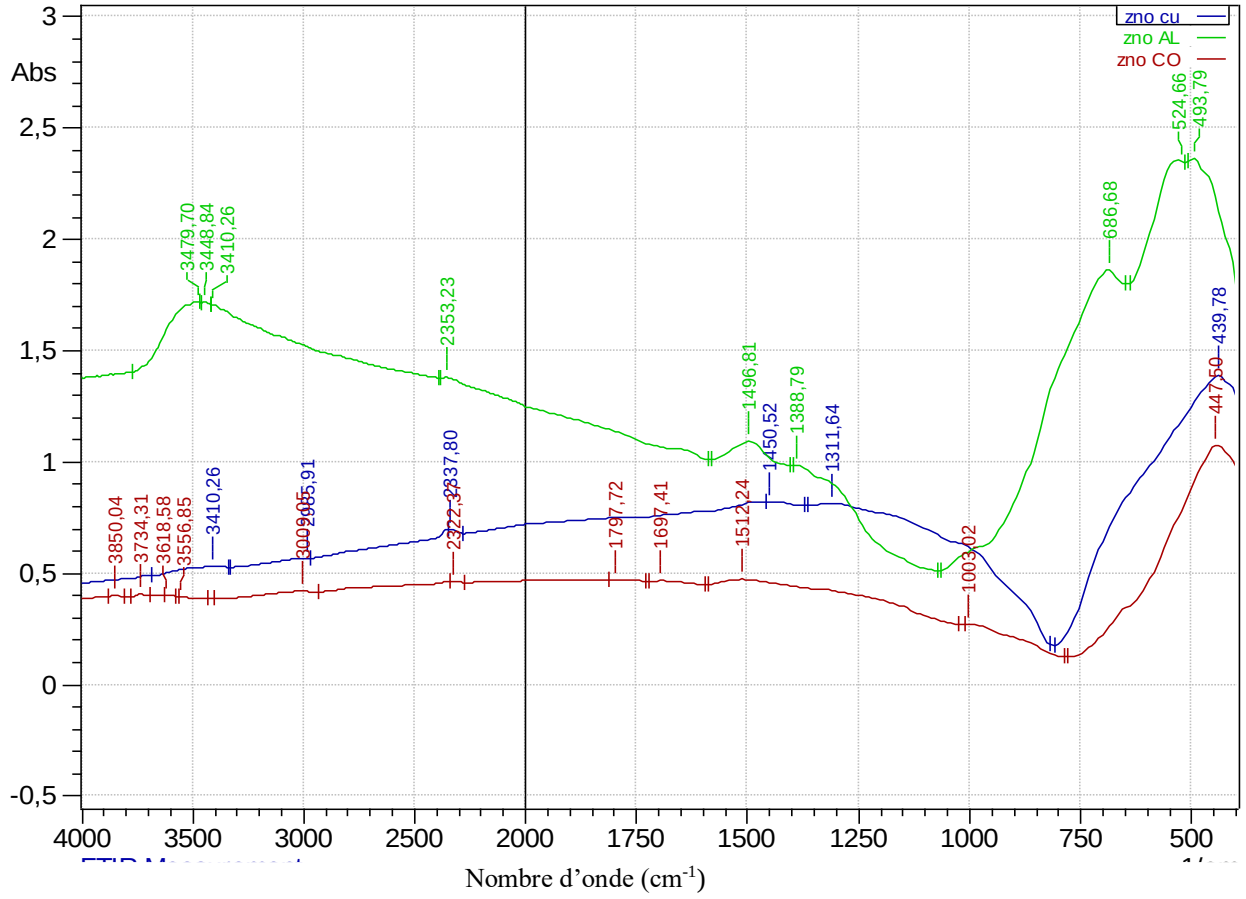


Figure IV.4 : Spectres IR de ZnO dopé. (Absorbance)

IV.6.Bande de transmittance de ZnO dopé en Cu,Co,Al

(La Figure IV.5) montre une comparaison entre les spectres transmittance des trois échantillons, ZnO dopé Al, ZnO dopé Cu et ZnO dopé CO. On peut constater que tous les spectres se comportent de la même façon, tel que les bandes les plus intensés sont observées aux 800, 850 et 1100 cm^{-1}, respectivement, ces bandes ont été toutes attribuées à la liaison Zn-O.

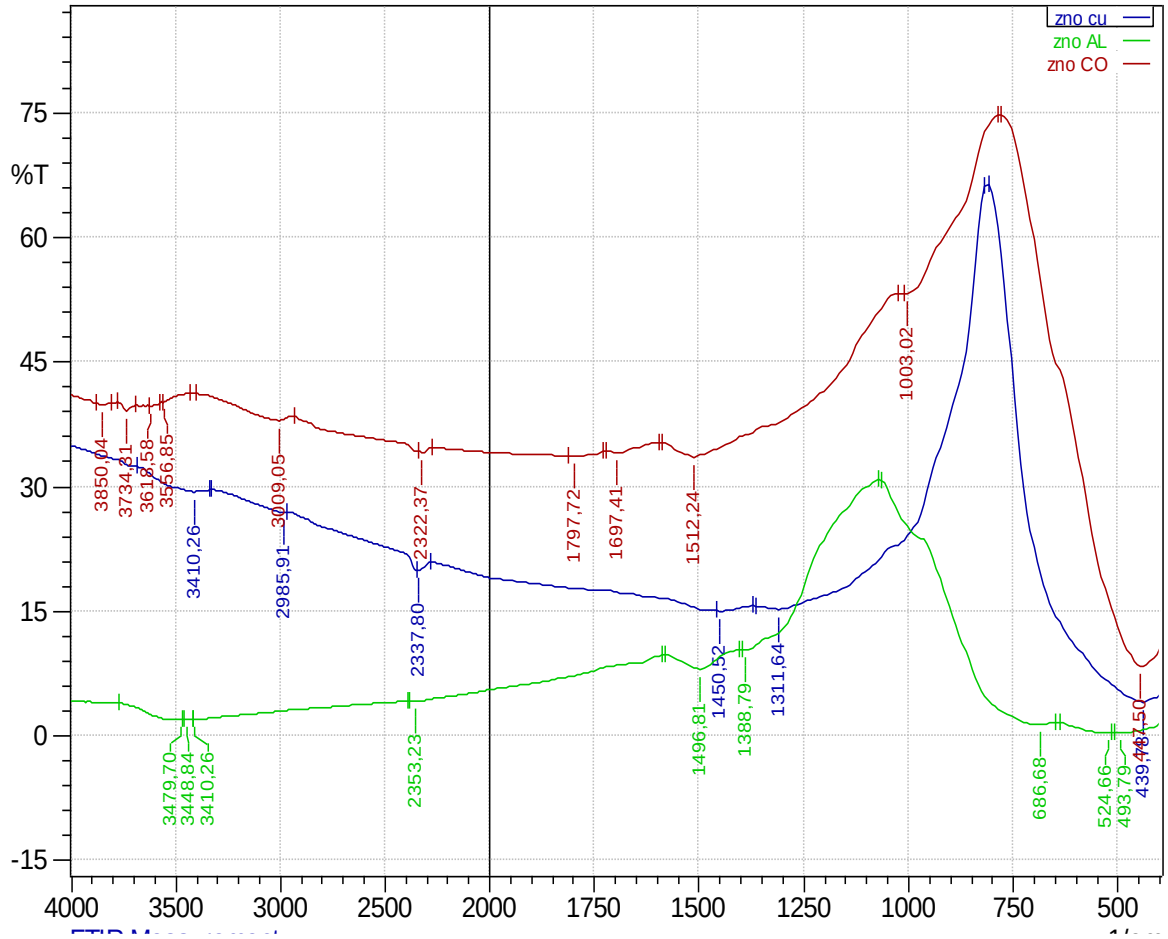


Figure IV.5 : Spectres IR de ZnO dopé Co,Cu,Al. (Transmittance).

-En remarque dans (la figure IV.5) que les bandes de transsmittance sont situés après les bandes d'absorbance dans la longueur de spectre IR. En Peut constater que l'effet de absorbance se réalise en premier lieux, après cette opération il vient l'effet de transmittance dans des bande plus éloigné que le premier phénomène physique (absorbance).

IV.7.Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait une caractérisation de ZnO dopé avec différent semi-conducteur après l'élaboration dans le labo de chimie 2, les résultats nous montre que ZnO dopé porte une absorbance importante dans les bandes 493, 439 et 447 cm^{-1} qui se traduit dans les bande de l'infrarouge, tout ça est traduit dans le spectre visible et le proche de l'infrarouge. Pour la transmittance aussi ces matériaux ZnOAl, ZnOCu, ZnOCo, transmettre le rayonnement solaire dans le spectre visible de façon similaire et atteint les valeurs maximale dans les bandes de 800, 850 et 1100 cm^{-1}.

-Nous avons voulue de faire une caractérisation atomique sur la structure cristalline des échantillons ZnO par l'appareil d'AFM. Mais à cause de temps et manque de matériel nous n'avons pas la chance de prendre notre résultat.

-Ce matériaux accepte l'amélioration par différente méthode pour utiliser ses caractéristique pas seulement dans le PV, aussi différent domaine nous avons les citer dans les précédant chapitre.

Conclusion général

Les travaux présentés dans ce mémoire sont basées sur la production d'énergie électrique photovoltaïque ainsi que son mode de fabrication et son avantage d'utilisation dans le future comme un remplacent pour les autres modes de production. Le domaine des énergies renouvelables est en cours d'évolution nous avons spécifié l'énergie solaire photovoltaïque a cause de l'augmentation de demande sur cette énergie pour remplir le besoin des cites isolé et donner la possibilité de stocké l'énergie électrique dans des batteries. Nous avons cité les différentes étapes de fabrication de paneaux.En a accordé notre travaille par l'élaboration du ZnO, nous avons obtenue de bonne résultat d'absorbance dans les bandes environ 493, 439 et 447 cm^{-1} qui atteignent des valeurs maximales jusqu'à plus 2,3.Pour la transmittance et dans le nombre d'ondes 800, 850 et 1100 cm^{-1} s'effectué des valeurs maximal jusqu'à 75% les spectre sont situés dans la bande visible et prés de IR.Donc le ZnO porte grande énergie de liaison d'exciton (60meV), large gap direct (3,3eV) .Le dopage de ZnO fait la concurrence avec le silicium pour augmenter le rendement du PV et rechercher d'autre impureté plus efficace et disponible sans danger pour la nature et l'être humain. Malgré qu'on a réalisé quatre chapitre mais je panse qu'il n'était pas suffisant pour parler sur tout les cotés de cette énergie, la j'ai touché le coté de la matière première des cellules PV l'élément responsable de crier le courant électrique dans le panneau solaire, le PV déroule beaucoup sur le coté électrique, je peux dire qu'il y a plusieurs sujets et caractéristique on ne peut pas les cités tout dans mon travaille donc j'ai travaillé pour mettre les éléments importants et essentiels.

Liste des references

[1] E.A. Alsema, M.J. de Wild-Scholten, V.M. Fthenakis, “Environmental Impacts of PV Electricity Generation - A Critical Comparison of Energy Supply Options”, 21th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Dresden, Germany, 4-8 September 2006.

[2] B. Lenkeit, R. Russel, et M.J. de Wild-Scholten, Evaluation of High-Effiency mc-Si Cell Processing Technologies Regarding Environmental Impact and Industrial Applicability, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, 4-8 September 2006, Dresden, Germany.

[3] Alsema E.A. et de Wild-Scholten M.J., Reduction of the Environmental Impacts in Crystalline Silicon Module Manufacturing, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference 2007, Milan, Italy

[4] ZERGUINE Bilal, Modalisation d’un système de production électrique par la cellule photovoltaïque, Mémoire master, Université BAJI Mokhtar, ANNABA, 2010.

[5] Frederic Jay. Nouveaux substrats de silicium cristallin destinés aux cellules photovoltaïque à haut rendement : cas du silicium mono-like et du dopage aux donneurs thermiques liés à l’oxygène pour les cellules à hétérojonction de silicium. Génie des procédés. Université Grenoble Alpes, 2016. Français.

[6] Cécile Miquel Systèmes photovoltaïques « Fabrication et impact environnemental ». sous la direction de Bruno Gaiddon 2009 HESPUL Energie Renouvelable et Efficacité Énergétique.

[7] C.R. GORLA, N.W. EMANETOGLU, S. LIANG, W.E. MAYO, Y. LU, M. WRABACK and H. SHEN, « Structural, optical, and surface acoustic wave properties of epitaxial ZnO films grown on (011 2) sapphire by metalorganic chemical vapor deposition », J. App. Phys, 85, 2595, (1999).

[8] K. HELALI, « Modélisation D’une Cellule Photovoltaïque: Étude Comparative », Thèse de Magister, Université de Tizi-Ouzou, (2012).

[9] Arab Louiza, « Elaboration par différentes méthodes et étude optique de poudres nanocristallines de ZnO pur et dopé par différents oxydes», Diplôme Master, Université Mentouri-Canstantine, 4 Octobre 2012.

[10] C. Guizard, École d'été sol-gel, Tome 1.Centre National de le recherche Scientifique,Oleran 15-20 septembre (1991).

[11] Ministère de l'Energie et des Mines (Algérie), « Guide des Energies Renouvelables », site internet, Edition 2007.

[12] Dr. BELAID LALOUNI Sofia, « Cours Énergie Solaire Photovoltaïque», Université A.MIRA de BEJAIA Faculté de Technologie, Année universitaire 2014/2015.

[13] Dr.Souici, «Cours de physique des semi- conducteurs», Université de Bejaia, Année 2013.

[14] Cours des semi-conducteurs ; le semi-conducteur ; chapitre 1 : les semi-conducteurs, technique de l'ingénieur.

[15] A. Bensaada, « Technologie des semi-conducteurs'', Livre, Université d'Oran, Alger.

[16] HALOUNE Assia «Modélisation du transfert radiatif dans les strates supérieures d'un module photovoltaïque »Mémoire Master, Université de M'Hamed Bougara Boumerdes, Année 2016/2017.

[17] Sylvain De Vecchi «Développement de cellules photovoltaïques a hétérojonctions silicium contact et en face arrière ». thes doctorat Thibaut Desruse 2009 l'institut national des sciences appliquées de Lyon.

[18] J. Royer et T. Djiako et E. Schiler, B. Sadasy. ' Le pompage photovoltaïque', Université d'Ottawa, 1998.

[19] TRAORE Massitan, «Gestion Du Système Photovoltaïque D'une Alimentation Privee Connecte Au Réseau », Mémoire de Master, Universite Badji Mokhtar- Annaba, Juin 2017.

[20] FELLAH Boumediene, Système hybride photovoltaïque-éolien, de production d'électricité. Application aux sites de Tlemcen et de Bouzaréah,Mémoire de master, Université Abou-bakr Belkaid de Telemcen faculte de sciences,Octobre 2012.

[21] Fuel Cell Handbook EG&G Technical Services, Inc., 6ème édition, novembre 2002.

[22] Florent Brèque, « Modélisation du transport de Masse dans une pile a combustible de type PEM et étude de l'humidification interne De La Pile », Thèse de Doctorat, Université de Québec a Trois-Rivières, Septembre 2008.

[23] J.L BOLIN, E. HUFFER, H.NIFENECHER , p 343.Systèmes de conversion de l'énergie éolienne ». Liuchen Chang, Université du Nouveau-Brunswick, NB www.ieee.ca/canrev/canrev40/chang_fr.pdf

[25] MATALLAH Sorya, « Dimensionnement et simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter un habitat dans la wilaya d'Ouargla», Mémoire master, Université de Ouargla,2015.

[26] S.V. Loo, J. Koppejan (2008) "The handbook of biomasse combustion and co-firing." ISBN: 978-1-84407-249-1.

[27] HATEM.S ; KACHEBI.Y ; « Etude énergétique et réalisation d'une turbine éolienne à axe vertical de petite puissance » ; mémoire de fin d'étude ; A/MIRA de Bejaïa ; 2013.

[28] Frédéric POITIERS ; « Étude et commande de génératrices asynchrones pour l'utilisation de l'énergie éolienne » ; thèse de doctorat ; université de Nantes ; 2003.

[29] E. Muljadi, C.P. Butterfield, Yih-Huei Wan, «Axial flux, modular, permanent-magnet generator with a toroidal winding for wind turbine applications », IEEE industry applications conference, St Louis, november 5-8, 1998.

[30] REDJEM Radia, « Étude d'une chaîne de conversion d'énergie éolienne»,Mémoire Master, Université Mentourie, Département d'Electrotechnique,Le 04 Juillet 2009.

[31] T.BROURI, « Élaboration Et Etude Des Propriétés Electriques De Couches Minces Et De Nano-Fils De ZnO», Université Paris-Est, (2011).

[32] Conseille general des LANDES,l'energie solaire thermique.

[33] **G**.GORDILLO, and C. CALDERON, Adv. Mat. Sci & Tech., 70, 2230, (1997).

[34] Y.IIDA, AIST Today, 3, 14, (2003).

[35] Adel Taabouche, "contribution à l'étude structurale et microstructurale de films ZnO obtenus par ablation laser", thèse magister, Constantine 2010.

[36] Shou-Yi Kuo, Wei-Chun Chen, Fang-I Lai, Chin-Pao Cheng, Hao-Chung Kuo, ShingChung Wang, Wen-Feng Hsieh, "Effects of doping concentration and annealing temperature on properties of highly-oriented Al-doped ZnO films", Journal of Crystal Growth 287 (2006) 78–84.

[37] R .Bernard, G.Merguy, M. Schwartz, Le rayonnement solaire: conversion thermique et application. Technique et documentation, deuxième Edition-1980.

[38] Kalla Fayçal, Conversion thermodynamique de l'énergie solaire: Étude et modélisation d'un capteur solaire,Mémoire master, UNIVERSITE DE BATNA,15 Janvier 2014.

[39] Vincent ROG, «Etude,fabrication et caractérisation de nanostructures catalytiques de type ZnO/SnO2 intégrées a des membranes modèles pour la dépollution de l'eau»,Thèse doctorat, Université de Strasbourg, EDSC, Le 24 septembre 2015.

[40] Melle Fatima BENSMAIN, «Etude théorique sur les applications actuelles du ZnO et les dopages possibles sur ce matériau», Diplôme Master, Université Aboubaker Belkaid Telemcen,25 Juin 2015.

[41] S.J. Pearton, D.P. Norton, K. Ip, Y.W. Heo and T. Steiner, Recent progress in processig and properties of ZnO, Superlattices and Microstructures, Vol.34 (1-2), pp. 3-32 (2003).

- Google.