

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Seddik Ben Yahia. Jijel

Faculté des Sciences et de la technologie

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

LICENCE : ENERGETIQUE

Module : Les énergies renouvelables

Année universitaire : 2019-2020

Chapitre 2

CAPTEURS SOLAIRES

2.1 LES BASES DE CAPTATION

2.1.1 Corps noirs

C'est un corps ou une surface qui absorberait de façon idéale la totalité d'un rayonnement qu'il reçoit, et qui aussi, à une température donnée et pour une longueur d'onde donnée, émettrait le maximum de flux par rayonnement.

2.1.2 Effet de serre

L'effet de serre est souvent mis à profit pour la conversion thermique à base de température du rayonnement solaire, on désigne normalement par « effet de serre », l'ensemble des modifications apportées à l'équilibre énergétique et thermique d'un corps récepteur (le sol par exemple), par la mise en place d'un couvercle de verre, transparent au rayonnement solaire, compris entre $0.01\mu\text{m}$ et $4\mu\text{m}$ et opaque au rayonnement solaire terrestre de longueur d'onde supérieure à $4\mu\text{m}$.

2.2 LES DIFFERENTS TYPES DE CAPTEURS

Les capteurs solaires sont classés d'après le fluide utilisé, l'air constitue une classe de ces fluides et l'eau une autre et il en existe d'autres. Les capteurs solaires les plus utilisés sont :

2.2.1 Les capteurs solaires à eau

Les capteurs solaires à eau s'adaptent aux appareils de chauffage à liquide, dans ce cas, l'eau sera utilisée dans un appareil en cuivre ou autre matériau résistant à la corrosion.

Nous distinguons deux types de systèmes :

LES CAPTEURS A BASSE PRESSION :

Nous les employons pour le chauffage des piscines, pour le chauffage de l'eau sanitaire et pour le chauffage domestique. Pour le chauffage de l'eau sanitaire nous pouvons utiliser un réservoir en plastique qui doit être

suffisamment épais pour supporter les conditions atmosphériques et il ne doit pas être épais, car c'est un très mauvais conducteur thermique.

LES SYSTEMES A HAUTE PRESSION :

Dans ces systèmes, le circuit d'eau est généralement constitué de tube en cuivre, acier ou aluminium, avec un espacement entre les tubes. La surface de l'absorbeur est alors augmentée et en collectionne plus de calories que dans le cas précédent.

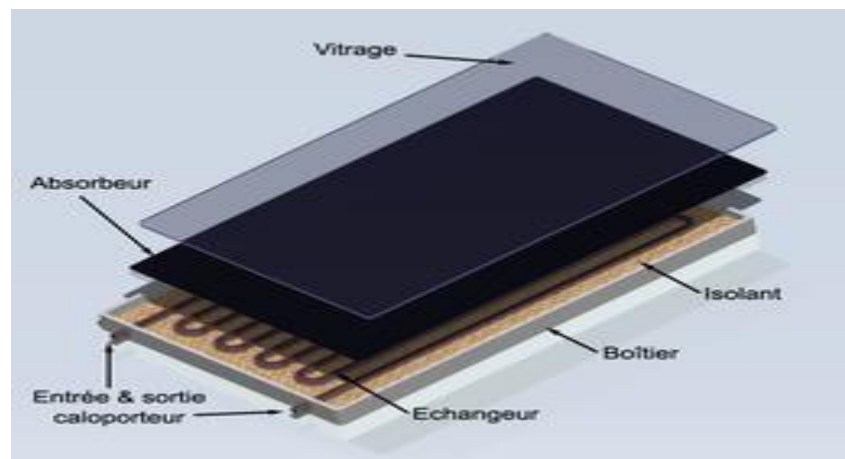


Figure 1 : Les différents composants d'un capteur plan .

2.2.b Les capteurs solaires à air

Si le fonctionnement de l'appareil est de fournir de l'air chaud pour le séchage ou le chauffage des locaux, l'air avec sa nature non corrosive et qui permet l'utilisation des matériaux moins coûteux, se trouve le mieux adapté aux appareils de chauffage à air.



Figure 2 : Exemple d'un capteur plan à air .

2.3 DESCRIPTION DU CAPTEUR PLAN

Le capteur plan se compose des éléments suivants :

2.3.1 Le vitrage

L'utilité de recouvrir l'absorbeur par une couverture transparente est de retenir les radiations infra-rouges émises par l'absorbeur, tout en laissant passer le maximum de rayonnement solaire. Ceci est dû essentiellement à ce que le verre est un mauvais accumulateur de chaleur.

2.3.2 L'absorbeur

C'est une surface parcourue d'un réseau de tubulures, revêtue d'une peinture noire matte. Elle assure la fonction d'un corps noir, qui absorbe toutes les radiations quelque soit leurs longueurs d'ondes, et joue le rôle d'un convertisseur du rayonnement solaire capté en chaleur.

L'absorbeur peut être :

En cuivre : qui est un bon conducteur, se travaille très bien mécaniquement, mais cher.

En aluminium : qui nécessite l'emploi d'un fluide caloporteur spécial pour des questions de corrosion.

En acier doux : qui a une faible conductivité thermique, et un coût moins élevé

Afin de réduire les pertes du capteur et accroître son efficacité il est préférable de recouvrir la surface de l'absorbeur d'un revêtement sélectif, qui a un facteur d'absorption le plus élevé et un facteur d'émission le plus faible. (voir tableau B.2)

Remarque :

Vous trouverez dans la partie annexe B, les différentes propriétés de ces matériaux.

2.3.3 L'isolant

Son rôle est de limiter les déperditions calorifiques à l'arrière et sur les côtés de l'absorbeur et aussi de calorifuger les tuyauteries destinées pour le transport de la chaleur. En général, il est opaque au visible de courtes longueurs d'onde et toujours opaque à l'infra-rouge de grandes longueurs d'ondes.

2.3.4 Le boîtier

Il contient les trois éléments cités précédemment et dont les parois sont tapissées d'une couche isolante destinée à réduire les pertes de chaleur vers l'arrière et les cotés du capteur, celui-ci doit être solide et résistant à la corrosion.

Chapitre 3

CAPTEURS SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES

3.2. INTRODUCTION

Le mot " Photovoltaïque " vient du mot d'origine grec 'photo', ce mot signifie la lumière, et du mot 'voltaïque' provenant de « volta » qui représente le nom du physicien italien Alessandro Volta, l'inventeur de la première pile électrique au 18^{ème} siècle. Le phénomène de l'effet photovoltaïque a été mis en évidence, pour la première fois, par le physicien Français Alexandre Edmond Becquerel (1839). Celui-ci a associés les mécanismes d'absorption des radiations solaires par le biais d'un matériau semi-conducteur avec des dopages différents du matériau.

3.2.1. Le panneau solaire (PV)

Tout système PV est constitué d'un panneau PV ou bien un module PV, cet élément de base permet de convertir l'énergie solaire en énergie électrique. Le module est constitué d'un assemblage en série et / ou en parallèle des cellules solaires qui convertissent les photons de la lumière du soleil en un courant électrique continu. La connexion d'un ensemble de cellules en série permet d'accroître la tension du module PV, tandis que la connexion en parallèle accroît le courant.

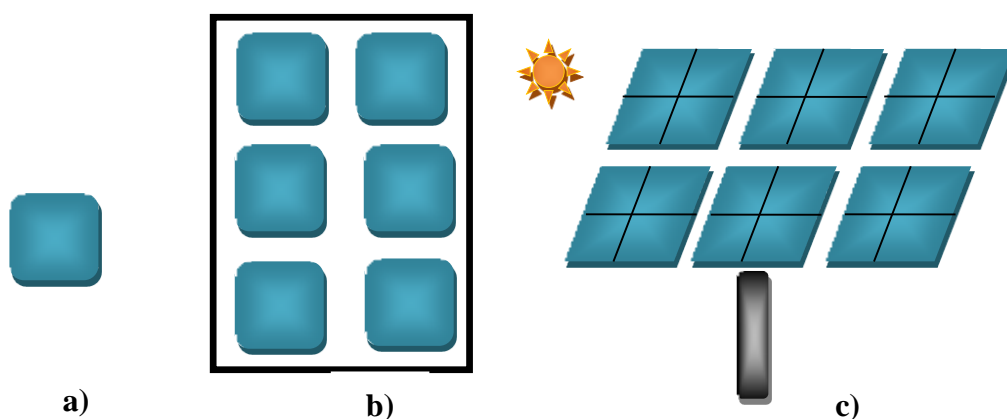


Figure 3 : Système photovoltaïque; a) cellule solaire, b) module PV, c) champ PV.

3.2.2. Composition des panneaux photovoltaïques

Les panneaux photovoltaïques sont composés de cellules solaires, ces éléments minces et plats, sont des composants optoélectronique, ils sont fabriqués à partir des matériaux semi-conducteurs qui possèdent des propriétés physique intermédiaire (Gap) entre les conducteurs et les isolants. Les composants principaux d'une cellule solaire sont :

- Verre : c'est verre trempé avec une faible teneur en oxyde de fer pour assurer une bonne transmission.
- EVA : L'éthylène-acétate de vinyle, c'est une résine transparente, formée de chaînes de copolymères d'éthylène et de vinyle acétate, elle présente de grandes propriétés adhésives, une bonne transmission optique, un très faible taux d'absorption d'eau comme elle a une bonne résistivité électrique.
- Tedlar : Il est utilisé en arrière du module, il est constitué d'un polymère fluoré appelé polyvinyle fluoré (PVF) ou bien d'un plastique appelé (PET).
- Cadre : qui sert à protéger les constituants suscités comme il facilite le transport et l'installation.
- La cellule solaire : est la base du module PV, elle est formée avec un ou plusieurs matériaux semi-conducteurs (homo-jonction ou hétérojonction) avec un dopage différent dans ces couches.

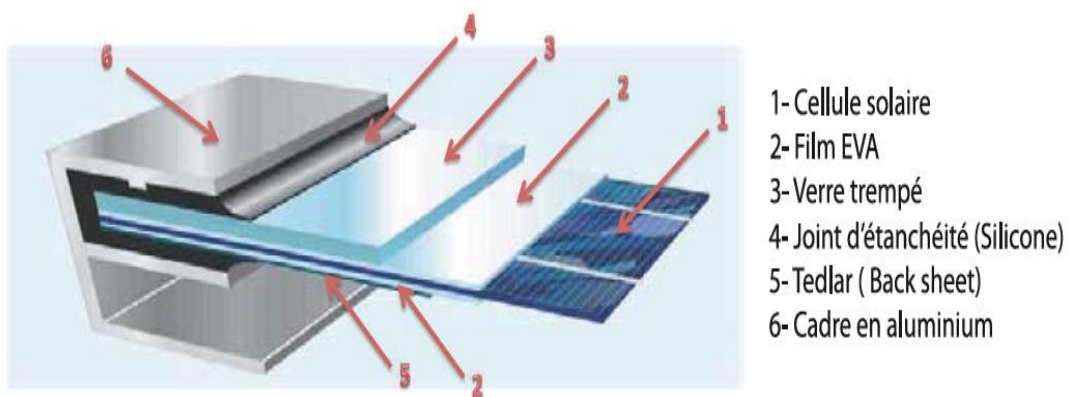


Figure 4 : Constitution du module photovoltaïque.

3.2.3. Encapsulation des cellules photovoltaïques

L'encapsulation des cellules solaires demeure l'une des étapes les plus importantes lors de la fabrication des modules photovoltaïques. Les cellules solaires sont généralement mises en série ou en parallèle dans des modules dont les tailles peuvent être très variables, afin de permettre leur utilisation à des tensions et des courants pratiques tout en assurant leur isolation électrique et leur protection contre les facteurs extérieurs. L'encapsulation des cellules à l'intérieur d'un module a pour rôle de protéger les cellules solaires contre l'humidité, la pluie, les poussières, les chocs mécaniques, la corrosion et leur maintien dans une structure rigide. Les performances du module photovoltaïque sont influencées par plusieurs facteurs tel que : le rayonnement solaire (qui change au cours de la journée, avec les conditions climatiques et géométriques du site), l'intensité du rayonnement solaire, l'angle d'incidence de la lumière, la température de fonctionnement du module.

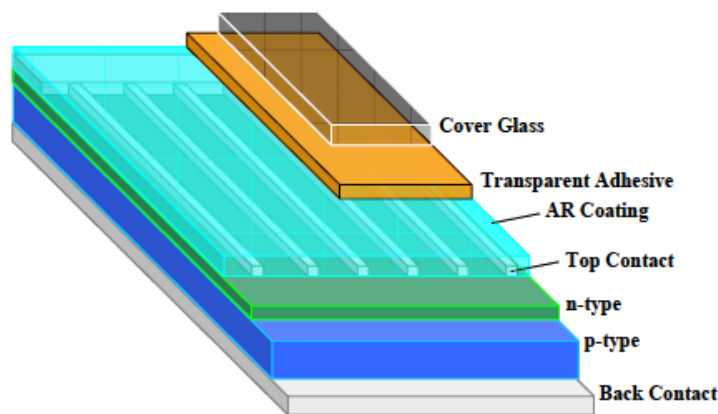


Figure 5 : Modèle représentant une cellule avec encapsulation.

3.2.4. Les Différentes technologies des modules photovoltaïques

Le silicium est le matériau de base le plus promoteur pour la construction des cellules solaires car il est le plus abondant sur terre après l'oxygène (27,6%) et que l'on retrouve dans le sable (silice ou silicates).

- Selon la structure microscopique du silicium, on peut trouver les types suivants :

- **Les cellules mono cristallines (c-Si):** Elles se composent d'un seul cristal pur (moins de défaut), ces cellules mono cristallines permettent d'obtenir de hauts rendements, de l'ordre de 15 à 22 %, mais la méthode de sa production est laborieuse et difficile donc ces cellules sont très chères.
- **Les cellules poly cristallines (Poly-Si) :** Elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples, les cellules poly cristallines sont caractérisées par : leur coût de production le moins élevé par rapport aux précédentes, néanmoins, elles nécessitent moins d'énergie dans leur phase d'élaboration et leur rendement de conversion est de l'ordre de 13 % et peut même arriver à 20 % en laboratoire.
- **Les cellules amorphes (a-Si) :** Leur structure atomique est désordonnée (non cristallisée), ces cellules possèdent un coefficient d'absorption supérieur à celui du silicium cristallin. Leur coût de production est le plus bas, mais leur rendement est seulement 5 % par module et de 14 % au laboratoire, elles présentent l'avantage de fonctionner sous très faible éclaircissement.

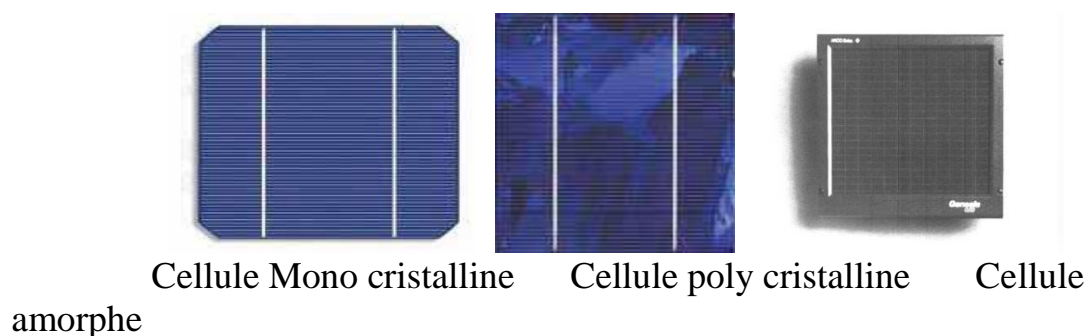


Figure 6: Différents types des cellules solaires en Silicium.

On peut trouver d'autres types de matériaux utilisés pour la fabrication des cellules solaires et qui sont : Arséniure de Gallium (GaAs) et les matériaux (III-V) destinés aux domaines spatiaux, Tellurure de Cadmium (CdTe), di-séléniure de cuivre et d'indium (CIS) et le dioxyde de titane (TiO₂).

- Un autre classement des modules photovoltaïques peut se faire selon le critère correspondant à l'épaisseur de la couche de la cellule solaire ;

cellules en silicium cristallin représente actuellement 80% du marché mondial par contre les cellules à couche mince représentent le reste. La figure (7) représente le classement technologique du module PV qui domine dans le marché solaire.

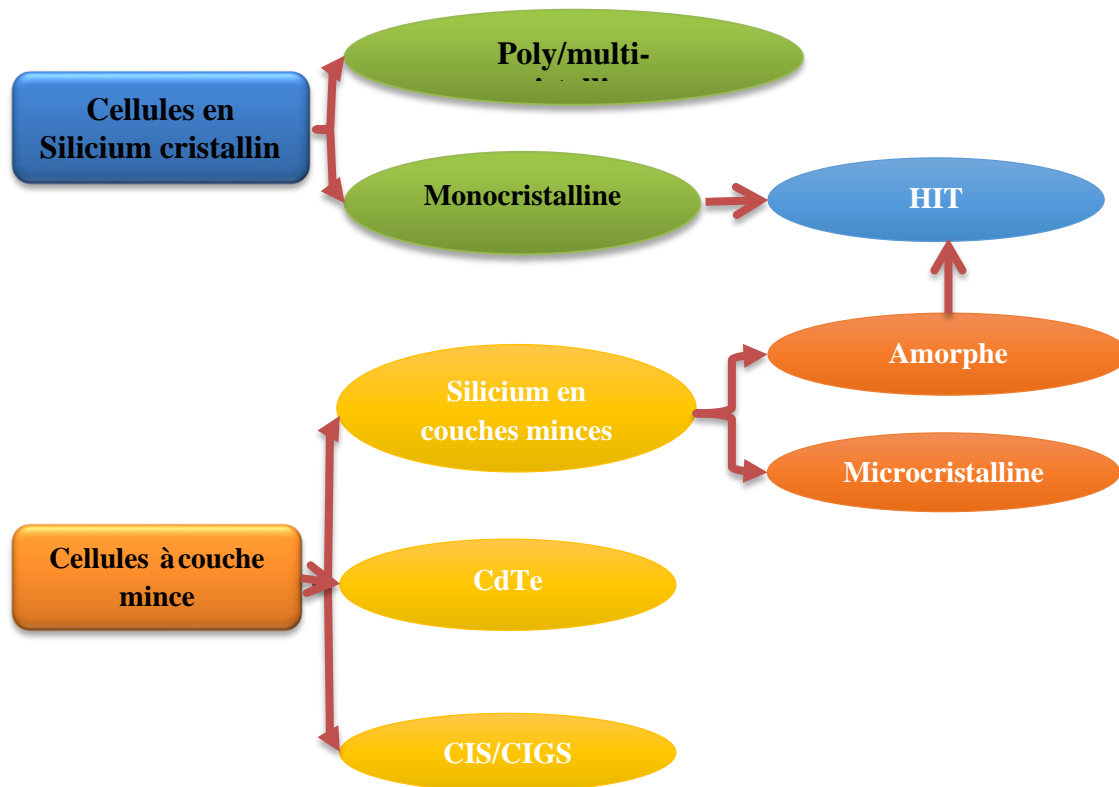


Figure 7: Classes de technologies des modules photovoltaïques .

3.2.5. Fonctionnement des cellules photovoltaïques

La cellule solaire est un dispositif qui permet de transformer l'énergie solaire en énergie électrique, la production du courant électrique dans la cellule est basée sur deux étapes principales :

- la génération de la paire électron- trou à travers l'absorption des photons parvenus de la lumière du soleil par le matériau absorbeur (semi-conducteur),
- la séparation de la paire électrons- trous générée par le champ électrique est créé par la jonction PN. Cette dernière est obtenue par le dopage du semi-conducteur .

Pour améliorer la conductivité et permettre la création d'une différence de potentiel entre les bornes de la photopile, on procède au dopage du semi-conducteur pur en introduisant des impuretés ce qui permet la circulation de courant électrique. Par conséquent il serait judicieux de connaître les notions suivantes :

- **Dopage de type P :** Dans ce cas on dope le Silicium par le Bore (B) ; impureté de type accepteur, on ajoute quelques éléments de Bore, qui contient trois électrons dans la couche de valence, au Silicium qui contient quatre électrons dans sa couche de valence. Ce qui va créer trois liaisons entre les atomes de Bore et de Silicium, il reste donc un trou qui se déplace dans le cristal et qui ne trouve pas un électron pour faire une liaison car le nombre de trous est supérieur au nombre des électrons .
- **Dopage de type N :** On ajoute quelques éléments de Phosphore (P) ; impureté de type donneur, qui contiennent cinq électrons dans la couche de valence, au silicium pour créer quatre liaisons et pour laisser un électron libre qui va exciter vers la bande de conduction très facilement par l'agitation thermique. A cause de cette opération on trouve que le nombre d'électron est supérieur au nombre de trous.
- **La jonction PN :** La jonction PN est la mise en contact de deux couches de Silicium de type différent : type P et type N, ce qui produit un déplacement des électrons libres dans la couche dopée N et les trous dans la couche dopée P à la surface de contact, donc un champ électrique va être créé pour empêcher les autres charges libres de traverser sa couche vers la deuxième couche pour qu'elle se recombine.

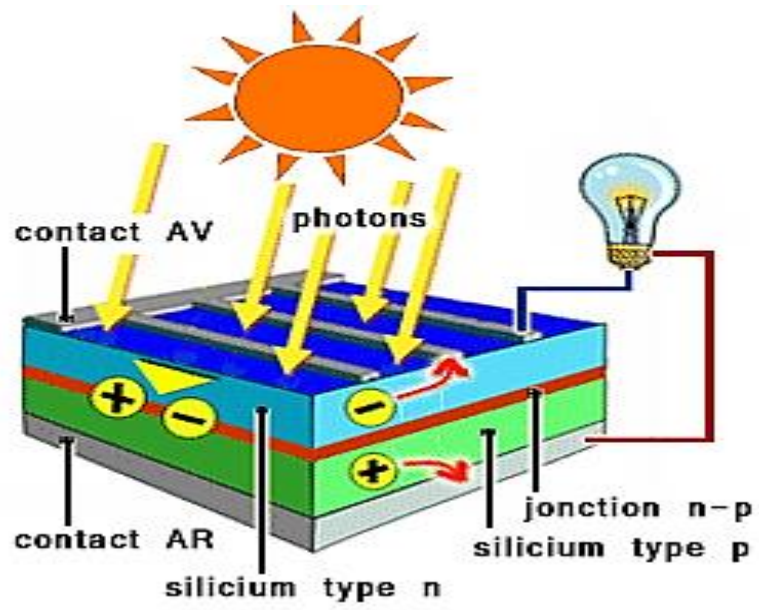


Figure 8: Effet photovoltaïque

Chapitre 4

GISEMENT EOLIEN

4.1 La nature de l'énergie éolienne

Les éoliennes convertissent l'énergie cinétique présentée dans l'air en mouvement (le vent) en des formes d'énergie plus utiles, notamment l'énergie mécanique ou l'électricité. La quantité d'énergie produite dépend principalement de la vitesse du vent. Elle est aussi affectée par la densité de l'air, cette dernière est déterminée par la température, la pression et l'altitude.

4.1.1. Types des éoliennes

On peut classer les éoliennes en deux grandes familles : celles avec axe vertical et celles à axe horizontal. D'autres configurations ont vu le jour mais n'ont jamais débouché sur une quelconque industrialisation.



Figure 9: Eolienne à axe vertical



Figure 10: Eolienne à axe horizontal

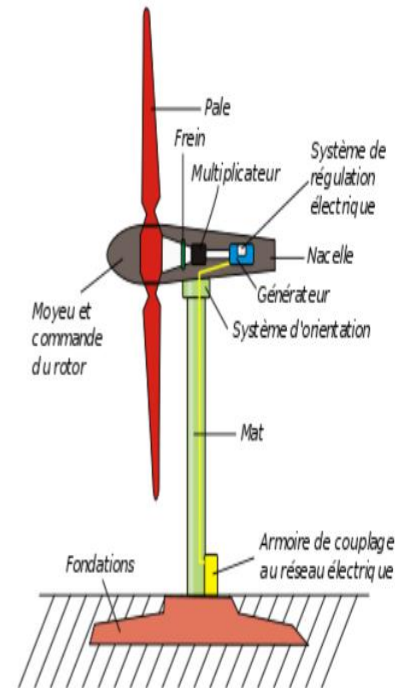
4.2. Architecture d'une éolienne à axe horizontal

On peut considérer trois composants essentiels dans une éolienne qui sont : le rotor, la nacelle et la tour.

Rotor : c'est le capteur d'énergie qui transforme l'énergie du vent en énergie mécanique. Il est composé des pales (un nombre variable) et de l'arbre primaire. La liaison entre le rotor et la nacelle est assurée par le moyeu. Le rotor peut être couplé directement ou indirectement à une pompe (cas d'une éolienne de pompage) ou plus généralement à un générateur électrique.

Nacelle : son rôle est d'abriter l'installation de génération de l'énergie électrique ainsi que ses périphériques.

Le mât : son rôle est d'une part supporter l'ensemble : rotor + nacelle et d'autre part, de placer le rotor à une hauteur suffisante pour permettre son mouvement et/ou placer le rotor à une hauteur lui permettant d'être entraîné par un vent plus fort et régulier qu'au niveau du sol. Le mât abrite généralement une partie des composants électriques et électroniques.



4.3 Force de Coriolis

Cette force est le résultat de la rotation de la terre autour de son axe et est perpendiculaire et proportionnelle à la vitesse du vent et orientée vers l'Est (la droite) dans l'hémisphère Nord et vers l'Ouest (la gauche) dans l'hémisphère Sud. La force de Coriolis s'exerce sur de longues distances et varie de nulle à l'équateur et maximale aux pôles.

4.4 Origine du vent

Du fait que la terre est ronde, le rayonnement solaire absorbé diffère aux pôles et à l'équateur. En effet, l'énergie absorbée à l'équateur est supérieure à celle absorbée aux pôles. Cette variation entraîne une différence de température en deux points qui induit des différences de densité de masse d'air provoquant leur déplacement d'une altitude à une autre.

Ces déplacements sont influencés par la force de Coriolis qui s'exerce perpendiculairement à la direction du mouvement vers l'est dans l'hémisphère nord et vers l'ouest dans l'hémisphère sud. On pourrait facilement prévoir la direction des vents dominants si elles n'étaient pas perturbées par les orages, les obstacles naturels ou les dépressions cycloniques.

4.4.1. Caractéristiques du vent

Le vent est généralement caractérisé par deux facteurs essentiels qui sont : sa vitesse et sa direction. La vitesse du vent est dans la plupart des cas mesurée à l'aide d'un anémomètre, alors que sa direction est connue en utilisant une girouette.

4.4.2. Vitesse du vent

La connaissance de la vitesse du vent dans une région est très importante pour une utilisation correcte de l'énergie éolienne. Elle est mesurée au sol et en altitude à l'aide des différents types d'anémomètre. Il existe plusieurs unités de mesure de la vitesse du vent dont la plus utilisée est le mètre par seconde (m/s). Les différentes unités des vitesses de vent sont :

$1 \text{ m/s} = 3.6 \text{ km/h} = 2.237 \text{ miles/h} = 1.944 \text{ nœud}$.

$1 \text{ nœud} = 1 \text{ mile marin à l'heure} = 0.5144 \text{ m/s} = 1.852 \text{ km/h} = 1.125 \text{ mile/h}$.



4.4.3. Direction du vent

Le vent souffle des zones de haute pression vers les zones de basse pression. On repère la direction du vent par le côté d'où il souffle. On dit que la direction du vent est Ouest si le courant d'air vient d'Ouest. Cette direction est indiquée par la girouette.



4.5. Energie éolienne en Algérie

Avec la croissance de la population nationale, les besoins de l'énergie augmentent. La production nationale d'électricité ne satisfait plus ces besoins, à cause de la dépendance d'une seule source d'énergie qui est le pétrole ou autres énergies d'origine fossile. Cependant, la disposition des différentes sources d'énergies renouvelables en Algérie encourage à se diriger vers l'exploitation de ces énergies. Parmi ces ressources le vent qui a une grande importance, car l'Algérie dispose des régions avec un potentiel éolien très élevé tel qu'Adrar.

4.5.1. Atlas de la vitesse du vent

La carte des vents de l'Algérie, estimée à 10 m du sol est présentée dans la figure suivante.

Les vitesses moyennes annuelles obtenues varient de 2 à 6.5 m/s.

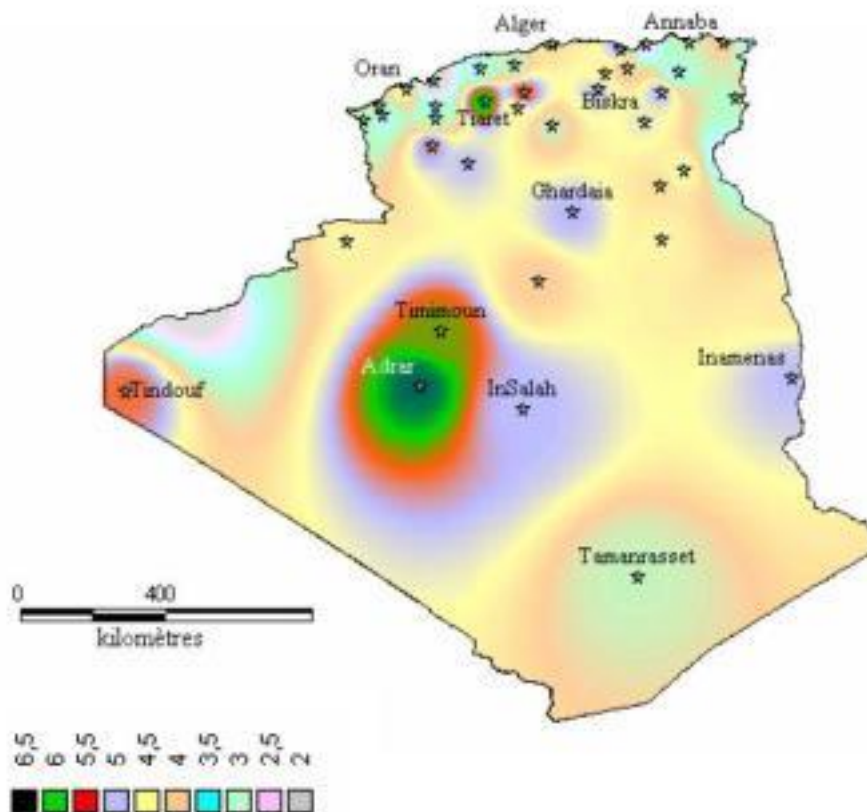


Figure 11 : Atlas de la vitesse moyenne du vent de l'Algérie estimée à 10 m du sol.