

Introduction

Ce chapitre traite les principes du phénomène de conversion d'énergie, les technologies des cellules solaires ainsi que la composition de chaque partie d'un système photovoltaïque, son utilité et sa nécessité à être intégrée afin d'avoir des configurations différentes telle que les systèmes de pompage autonomes « pompage au fil du soleil » avec ou sans stockage, systèmes autonomes hybrides ainsi que des systèmes simplement raccordés au réseau. Les composants en question sont : (modules ou cellules PV, le stockage d'énergie, les régulateurs, les convertisseurs DC/DC et DC/AC, le groupe Moteur-Pompe).

II.1 L'énergie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque fait partie des grandes familles des énergies renouvelables et puise sa source du soleil en captant les rayonnements lumineux et en les convertissant en électricité grâce à des modules photovoltaïques composés de cellules solaires appelées photopiles. Il ne faut donc pas confondre avec l'énergie solaire thermique qui se base sur la chaleur produite par le rayonnement solaire infrarouge.

Soleil ou lumière ? : L'énergie « solaire » doit être interpréter sur le fait que, toute source lumineuse peut être convertie en électricité, sauf que chaque source a son intensité qui permet d'avoir une certaine puissance sur le panneau PV, et cela va de soi que le soleil est la source la plus intense en énergie, et donc un panneau PV sera bien plus efficace dehors aligné face au soleil qu'à l'intérieur d'une maison.

II.1.1 Soleil

Le Soleil est l'étoile la plus proche de la Terre, dont elle est distante d'environ 150 millions de kilomètres. Il est composé à 80% d'hydrogène, 19 % d'hélium et 1% d'un mélange de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus depuis que Langevin et Perrin, s'appuyant sur la théorie de la relativité d'Einstein, ont émis l'idée il y a une soixantaine d'années que c'est l'énergie de fusion nucléaire qui fournit au soleil sa puissance. Ainsi, à chaque seconde, le soleil est allégé de 4 millions de tonnes dispersées sous forme de rayonnement [16].

II.1.2 Rayonnement solaire

Le Soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0,22 à 10 microns (μm). L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi :

– 9% dans la bande des ultraviolets ($<0,4 \mu\text{m}$),

- 47% dans la bande visible (0,4 à 0,8 μm),
- 44% dans la bande des infrarouges ($>0,8 \mu\text{m}$).

L'atmosphère terrestre reçoit ce rayonnement à une puissance moyenne de 1,37 kilowatt par mètre carré (KW/m^2), à plus ou moins 3%, selon que la Terre s'éloigne ou se rapproche du Soleil dans sa rotation autour de celui-ci. L'atmosphère en absorbe toutefois une partie, de sorte que la quantité d'énergie atteignant la surface terrestre dépasse rarement $1,2 \text{ KW}/\text{m}^2$ ($1200 \text{ W}/\text{m}^2$). La rotation et l'inclinaison de la Terre font également que l'énergie disponible en un point donné varie selon la latitude, l'heure et la saison. Enfin, les nuages, le brouillard, les particules atmosphériques et divers autres phénomènes météorologiques causent des variations horaires et quotidiennes qui tantôt augmentent, tantôt diminuent le rayonnement solaire et le rendent diffus.

Le Rayonnement du soleil pose un problème du fait qu'il ne soit pas toujours disponible étant donné qu'on ne peut ni l'emmagasiner ni le transporter c'est pour cela que le concepteur doit déterminer la quantité d'énergie solaire disponible à l'endroit visé et le moment où cette énergie est disponible. C'est de là que réside l'importance de connaître l'effet de la rotation et l'inclinaison de la Terre sur le rayonnement solaire. Il est donc évident que lorsque le soleil est à son point le plus haut la distance qui existe entre le soleil et la Terre sera minimale ce qui donnera une intensité de rayonnement optimale : c'est le « Midi-Solaire ». Selon les saisons la quantité d'énergie totale reçue sur un plan horizontale est plus grande en été qu'en hiver du fait que les journées sont plus longues en été.

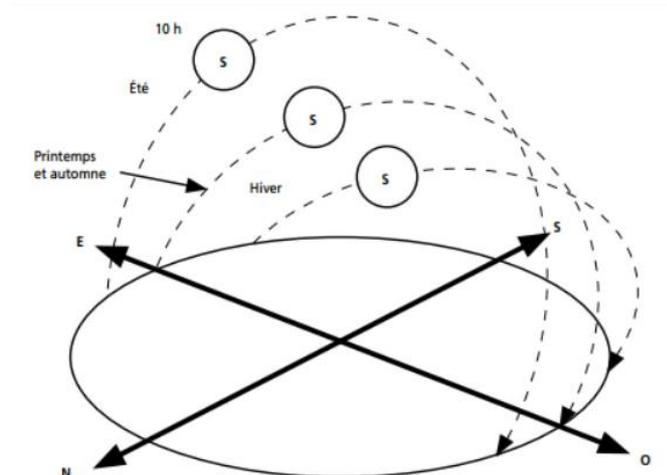


Figure (II.1) : Trajectoire du soleil selon les saisons.

Il y existe quatre types de rayonnement qui sont : *le rayonnement direct ; le rayonnement diffus ; le rayonnement solaire réfléchi ou l'albédo du sol et le rayonnement global.*

II.1.3 Coordonnées terrestres

Afin de pouvoir optimiser les modes de poses et inclinaisons des panneaux photovoltaïques il faut connaître la localisation du panneau dans le globe terrestre et donc connaître les coordonnées de Longitude, Latitude et Altitude.

▪ **Longitude :**

La longitude d'un lieu correspond à l'angle formé par deux plans méridiens (passant par l'axe des pôles), l'un étant pris comme origine (méridien de Greenwich 0°) et l'autre déterminé par le lieu envisagé. Elle sera désignée ici par la lettre (λ). Elle peut aussi être comprise entre -180° et 180° pour un lieu donné, tout écart de 1° de longitude correspond à un écart de 4 minutes de temps. [17]

On affecte du signe (+) les méridiens situés à l'est du méridien de Greenwich, et du signe (-) les méridiens situés à l'ouest de celui-ci.

Par exemple la Longitude de la ville de Bejaia est $5^\circ 5.0598'$ Est

▪ **Latitude :**

L'angle de latitude est l'angle entre une ligne tracée d'un point sur la surface de la terre avec le centre de cette dernière, et le cercle équatorial de la terre. L'intersection du cercle équatorial avec la surface de la terre forme l'équateur et est indiquée en tant que latitude de 0° , le pôle nord par la latitude $+90^\circ$ et le pôle sud par la latitude -90° .

Cette convention de signe affecte le signe (+) à tous les lieux de l'hémisphère Nord et le signe (-) tous les lieux de l'hémisphère Sud. La latitude sera désignée ici par lettre (ϕ), et peut ainsi être comprise entre -90° et $+90^\circ$. [17]

Par exemple la Latitude de la ville de Bejaia est $36^\circ 45.3522'$ Nord

▪ **L'altitude :**

L'altitude d'un point correspond à la distance verticale en mètre entre ce point et une surface de référence théorique (niveau moyen de la mer). [17]

Par exemple L'altitude par rapport au niveau de la mer à Bejaia est : 86 m

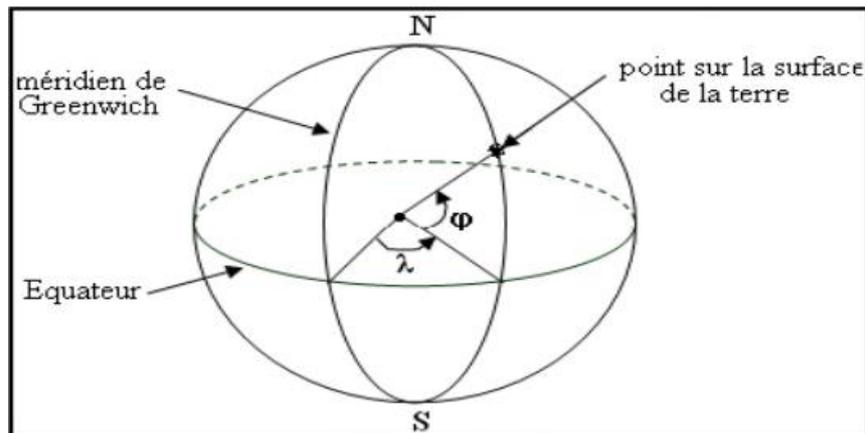


Figure (II.2) : coordonnées terrestres

II.1.4 La conversion d'énergie

Le terme « photovoltaïque » souvent abrégé par le sigle « PV », a été formé à partir des mots « photo » un mot grec signifiant lumière et « Volta » le nom du physicien italien Alessandro Volta qui a inventé la pile électrochimique en 1800. L'effet photovoltaïque est la conversion directe de l'énergie solaire en électricité

L'énergie photovoltaïque est obtenue directement à partir du rayonnement du soleil. Les modules photovoltaïques composés des cellules photovoltaïques à base de silicium ont la capacité de transformer les photons en électrons. La conversion photovoltaïque se produit dans des matériaux semi-conducteurs. L'énergie sous forme de courant continu est ainsi directement utilisable.

- Dans un isolant électrique, les électrons de la matière sont liés aux atomes et ne peuvent pas se déplacer.
- Dans un conducteur électrique (un fil de cuivre par exemple) les électrons sont totalement libres de circuler et permettent le passage d'un courant.
- Dans un semi-conducteur, la situation est intermédiaire, les électrons contenus dans la matière ne peuvent circuler que si on leur apporte une énergie pour les libérer de leurs atomes. Quand la lumière pénètre dans un semi-conducteur, ces photons apportent une énergie permettant aux électrons de se déplacer, il y a donc courant électrique sous l'exposition à la lumière.

II.2 Constitution d'un panneau solaire photovoltaïque :

II.2.1 Cellule solaire photovoltaïque :

Le phénomène physique dont lequel est basé la cellule photovoltaïque se nomme « effet photovoltaïque ». Lorsque la surface de la cellule est exposée à la lumière une force électromotrice

apparaît. L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p . Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau diffusent dans le matériau. La zone initialement dopée devient chargée positivement, et la zone initialement dopée chargée négativement.

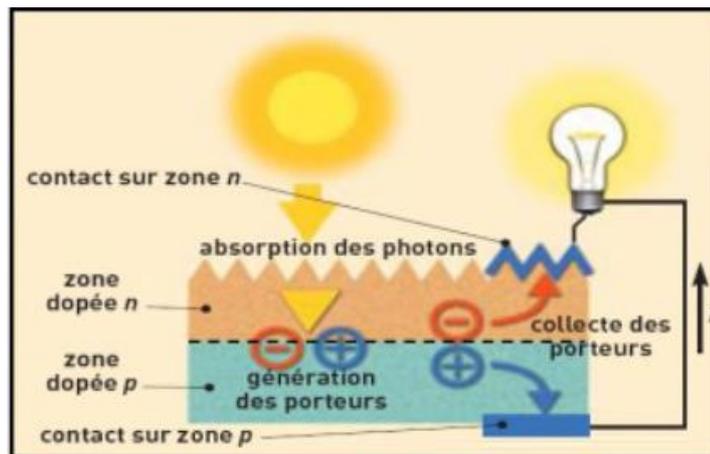


Figure (II.3) : Cellule solaire photovoltaïque

Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p . Une jonction (dite $p-n$) a été formée. En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p , une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone n rejoignent les trous de la zone p via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence du potentiel : le courant électrique circule. [18]

▪ **Technologies des cellules solaires :**

Le Silicium est l'un des matériaux le plus courant sur terre, c'est le plus stable, mais un haut degré de pureté est requis pour en faire une cellule photovoltaïque et le procédé est coûteux. Selon les technologies employées, on retrouve le Silicium monocristallin avec un rendement de 16 à 18%, le silicium poly-cristallin de rendement de 13 à 15%, le silicium amorphe présente une efficacité entre 5 et 10%. D'autres matériaux tels que l'arséniure de

Galium et le Tellure de Cadmium qui sont en court de test dans les laboratoires et présentent un rendement de (38%). [18]

- **Caractéristiques électriques :**

La cellule photovoltaïque possède des caractéristiques de courant-tension ($I_{pv}=f(V_{pv})$) non-linéaire (figure (I.4)). La caractéristique d'une cellule photovoltaïque balaie trois quadrants sur les quatre existants. Le fonctionnement dans ces deux quadrants est à proscrire car un risque de destruction par phénomène d'échauffement local (hot spot) est possible. Le fonctionnement dans le quadrant 1 est le fonctionnement normal, en effet dans ce cas la cellule est un générateur, elle produit donc de l'énergie. L'objectif est de faire travailler la cellule dans ce quadrant. [19]

Une cellule solaire est caractérisée par les paramètres fondamentaux suivants

- **Courant de court-circuit (I_{cc}) :** C'est la plus grande valeur du courant générée par une cellule pour une tension nulle ($V_{pv}=0$).
- **Tension en circuit ouvert (V_{oc}) :** La tension de circuit ouvert est la tension V_{oc} pour laquelle le courant débité par la photopile est nul (correspond à la tension maximale de la photopile). Elle reflète la tension de la cellule en absence de lumière, elle est exprimée mathématiquement par :

$$V_{oc} = \frac{m K T_c}{e} \left(\frac{I_{ph}}{I_0} \right) = V_t \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} \right) \quad \text{où} \quad V_t = \frac{m K T_c}{e} \quad (\text{II.1})$$

V_t : La tension thermique.

T_c : La température absolue.

m : Facteur idéal de la jonction.

K : Constante de Boltzmann ($K=1.3810 \cdot 10^{-23} \text{J/k}$)

e : Charge de l'électron ($e=1.610 \cdot 10^{-19} \text{C}$).

- **Point de puissance maximale (P_{max}) :**

La puissance utile maximale est déduite en optimisant le produit courant-tension. Au point P_{max} situé au coude de la caractéristique I-V, la puissance fournie par la cellule est maximale pour l'éclairement donné. Ce point dit de puissance maximale correspond à une tension dite de tension maximale V_{opt} et I_{opt} de courant maximal. [20]

$$P_{max} = V_{opt} \cdot I_{opt} \quad (\text{II.2})$$

V_{opt} : La tension optimale et I_{opt} : Le courant optimal

- **Facteur de qualité :**

C'est un paramètre dépendant de la qualité de la diode, (compris entre 1 et 2).

- **Facteur de forme :** On appelle facteur de forme ff (filling factor), le rapport entre la valeur maximale de la puissance pouvant être extraite ($P_{\max} = V_{\max} * I_{\max}$) de la photopile sous les conditions de mesures standardisées, et le produit $V_{co} * I_{cc}$ où:

$$ff = \frac{P_{\max}}{V_{co} \cdot I_{cc}} \quad (\text{II.3})$$

Plus la courbe caractéristique I-V tend vers une forme carrée, plus la puissance maximale, est élevée. Cette propriété est mesurée par le facteur de forme exprimé comme suit :

- **Rendement maximum :** est le rapport entre la puissance maximale et la puissance à l'entrée de la cellule solaire.

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{in}} = \frac{V_{opt} \cdot I_{opt}}{A_{pv} \cdot G} \quad (\text{II.4})$$

Où :

G : l'irradiation qui représente la puissance lumineuse reçue par unité de surface (W/m^2).

A_{pv} : Surface effective des cellules.

Les conditions normalisées de test des panneaux solaires sont caractérisées par un rayonnement instantané de $1000\text{W}/\text{m}^2$ d'une température ambiante de 25°C et d'un spectre AM **de 1.5**. AM représente l'Air Masse qui est l'épaisseur de l'atmosphère que la lumière doit pénétrer. Ces conditions sont appelées **STC** (Standard Test Conditions) cela correspond à un ensoleillement assez fort. La figure suivante représente la caractéristique puissance-tension d'un panneau photovoltaïque avec les points importants qui le caractérise.

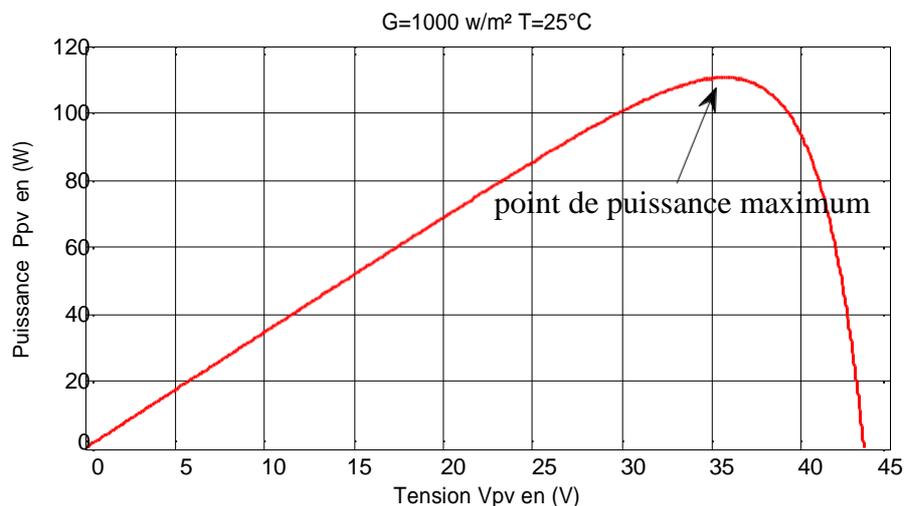


Figure (II.4) : Courbe caractéristique puissance-tension avec le point de puissance maximale.

II.2.2 Association des cellules photovoltaïque

- **Association en série :**

L'association en série des photopiles délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'un seul module.

- **Association Parallèle :**

L'association en parallèle des photopiles délivre un courant égal à la somme des courants individuels et une tension égale à celui d'un seul module.

- **Association mixte (Série + Parallèle) :**

Pour avoir une satisfaction en courant et en tension, on est obligé d'utiliser un groupement mixte, c'est à dire Série-Parallèle. [21]

II.2.3 Modules et générateurs photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques sont connectées en série afin d'augmenter la tension d'utilisation. La tension nominale du module est habituellement adaptée à la charge de 12V et les modules auront donc généralement 36 cellules. De plus, la fragilité des cellules au bris et à la corrosion exige une protection envers leur environnement et celles-ci sont généralement encapsulées sous verre ou sous composé plastique. Le tout est appelé un module photovoltaïque. Les modules peuvent également être connectés en série et en parallèle afin d'augmenter la tension et l'intensité d'utilisation [22]. Tandis que pour le générateur photovoltaïque, Il est constitué d'un ensemble de modules rangés sous forme de panneaux, dont les caractéristiques sont connues, La structure topologique du générateur est composée d'un nombre de modules séries N_s et d'un nombre de modules parallèles N_p . En fonction de la puissance désirée, les panneaux eux-mêmes peuvent être assemblés pour constituer le générateur photovoltaïque.

Toutefois, il importe de prendre quelques précautions car l'existence de cellules moins efficaces ou l'occlusion d'une ou plusieurs cellules (dus à de l'ombrage, de la poussière, etc.) peuvent endommager les cellules de façon permanente.

Le point de fonctionnement du générateur photovoltaïque est caractérisé par :

$$I_{GPV} = N_p * I \quad (\text{II.5})$$

$$V_{GPV} = N_s * V \quad (\text{II.6})$$

I_{GPV} et V_{GPV} sont le courant et la tension du générateur photovoltaïque N_p et N_s sont les nombres des modules en série et en parallèle respectivement.

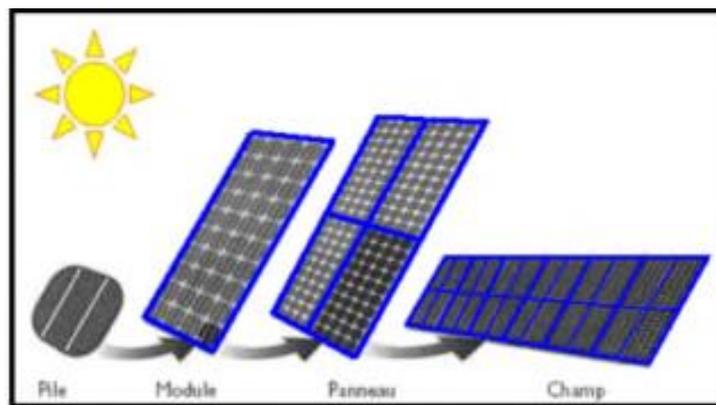


Figure (II.5) : Passage de la cellule vers le champ photovoltaïque.

II.2.4 Implantation des champs photovoltaïque

L'implantation du panneau solaire nécessite de respecter certains choix et critères qui maximisent les performances :

- **Orientation du champ de modules :**

Une orientation sud dans l'hémisphère Nord procure un maximum d'ensoleillement dans la journée.

- **Inclinaison des modules :**

Une inclinaison optimale permet d'optimiser la production des panneaux solaires pendant le mois le moins ensoleillé, pour les régions tempérées ou l'hiver est la plus mauvaise période l'inclinaison est souvent la latitude +10°. [23]

- **L'ombre portée sur le champ de modules :**

Un relevé de profils d'ombre sur le site est primordial au démarrage du projet afin de contrôler la qualité de l'ensoleillement.

▪ **La distance modules-batteries :**

En courant continu basse tension, les chutes de tension peuvent être importantes. Une distance importante entre les modules et la batterie peut rendre nécessaire la pose de câble de section importantes (10 ou 16 mm² voir plus). Il faut donc limiter au maximum la distance entre le champ de modules et les usages en courant continu. [23]

II.2.5 Influence des conditions climatiques

Certaines grandeurs liées aux conditions climatiques telles que la température et l'ensoleillement agissent de façon directe sur la puissance du générateur photovoltaïque modifiant ainsi les caractéristiques courant-tension et puissance-tension.

▪ **Influence de la Température :**

La température est un paramètre important dans le comportement du générateur photovoltaïque. La figure (II.6) montre que l'augmentation de la température entraîne une diminution nette de la tension de circuit ouvert et une augmentation du courant de court-circuit, ainsi qu'une diminution de la puissance maximale. [21]

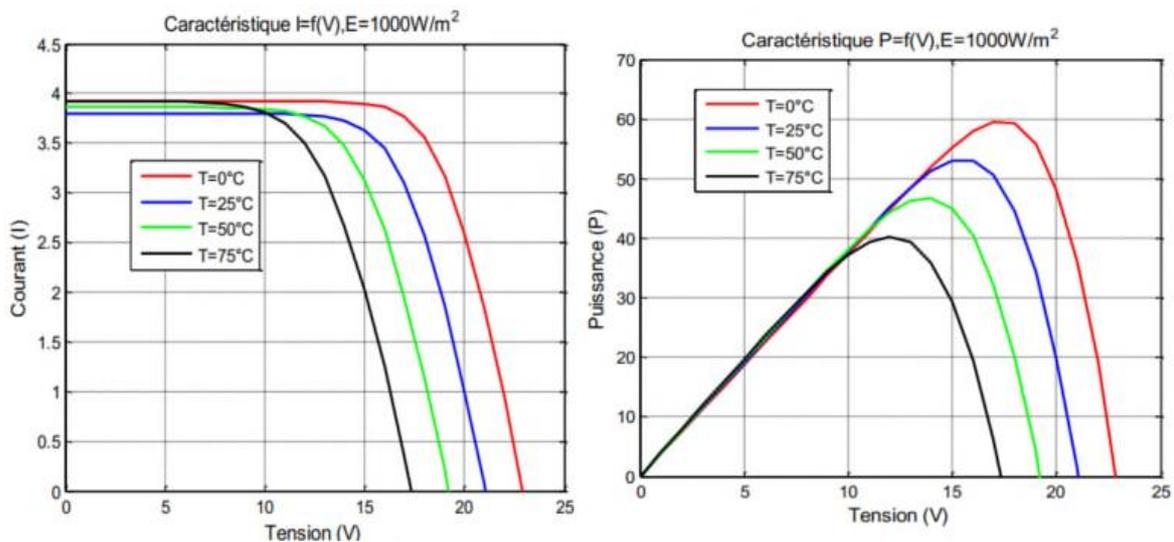


Figure (II.6) : Influence de la température sur les caractéristiques I(V) et P(V) d'un panneau PV.

▪ **Influence de l'ensoleillement :**

L'augmentation de l'éclairement est directement proportionnelle à l'intensité du courant de court-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions, elle reste quasiment identique même à faible éclairement. [21]

La figure (II.7) montre que la puissance maximale produite par la cellule est proportionnelle au rayonnement solaire. C'est un paramètre extrêmement influant sur le point de fonctionnement de la cellule solaire. En effet, il est reporté que si l'ensoleillement augmente, l'intensité

du courant croit, d'où production de puissance électrique plus importante. [24]

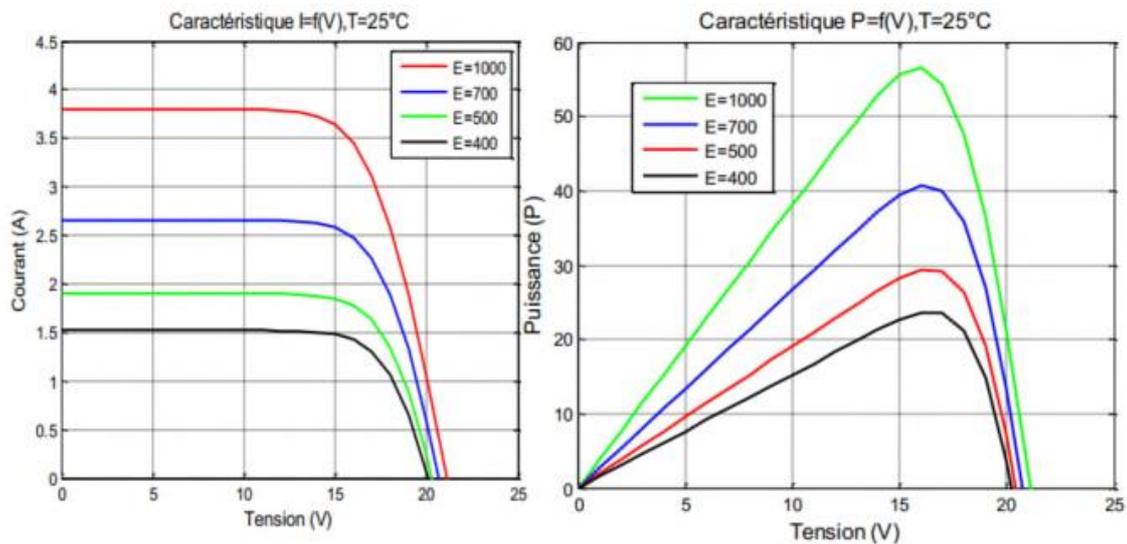


Figure (II.7) : Influence de l'éclairement sur les caractéristiques électriques $I(V)$ et $P(V)$ d'un panneau PV.

II.2.6 Les configurations des systèmes photovoltaïques

Les systèmes photovoltaïques sont classés en trois types : systèmes autonomes, systèmes hybrides et systèmes reliés au réseau. Le type de systèmes dépend des besoins, de l'emplacement et du budget. Dans ce projet nous nous intéressons au système autonome sans batterie de stockage qui est aussi appelé « système au fil du soleil ».

- **Système au fil du soleil :**

Très utilisés dans le pompage photovoltaïque, ces systèmes fonctionnent au fil du soleil sans stockage électrochimique. L'eau ainsi pompée peut être utilisée directement ou stockée dans un réservoir pour des utilisations ultérieures. Dans les régions éloignées, désertiques ou montagneuses, l'alimentation en eau potable et d'irrigation reste toujours le souci quotidien des populations. Le pompage d'eau à l'aide de l'énergie solaire photovoltaïque est une solution bien adaptée pour ces régions. En effet, la majorité de ces régions sont très ensoleillées et cette énergie a l'avantage d'être présente et propre contrairement à l'énergie conventionnelle qui présente les contraintes de l'éloignement du réseau électrique et les contraintes du transport du combustible et les entretiens périodiques pour les moteurs diesels. Généralement, les systèmes de pompage photovoltaïque sont constitués d'un générateur photovoltaïque, un convertisseur du courant électrique qui peut-être un convertisseur DC/AC pour un moteur à courant alternatif ou un convertisseur DC/DC pour un moteur à courant continu et d'un groupe motopompe. [25]

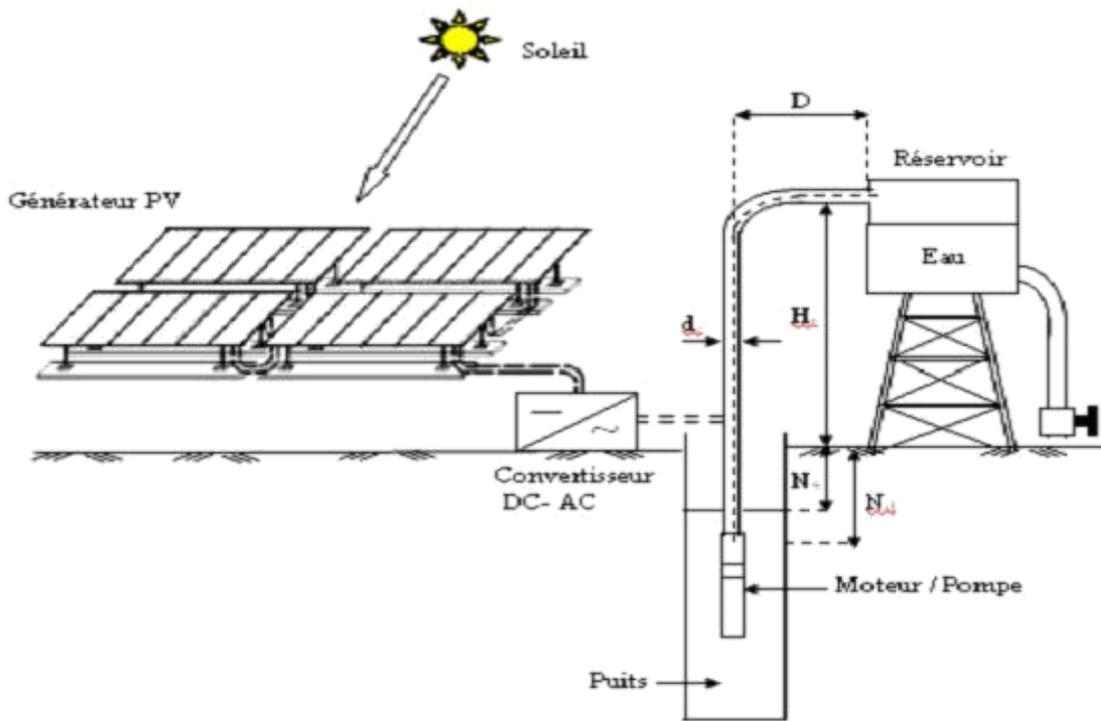


Figure (II.8) : Schéma explicatif d'un système de pompage photovoltaïque fonctionnant au fil du soleil (sans stockage). [26]

II.3 Constitution d'un système de pompage photovoltaïque

Le besoin d'eau étant plus important dans les pays les plus chauds et lors des périodes les plus sèches, et donc généralement les plus ensoleillées, la production d'énergie solaire coïncide avec le besoin d'eau. La pompe solaire est née de cette convergence, et on en installe depuis plus de 30 ans. Mais on ne saurait réduire cette application à la seule fonction de pompage. Une installation d'adduction en eau potable (AEP) est tout un ensemble. Quand la pompe est animée par l'énergie solaire, le prestige porté à cette dernière fait que l'on a tendance à résumer l'ensemble de l'AEP en « pompage solaire ». Le danger qui en découle est que la qualité des autres infrastructures risque d'être négligée ; on a en effet tendance à se focaliser sur la seule partie pompage. Pourtant, chaque élément a son importance et c'est le maillon faible qui peut compromettre le but final et entacher la réputation de l'énergie solaire qui, étant sous les projecteurs, est trop rapidement montrée du doigt en cas de contre-performance, cette analyse ainsi que la présentation qui suit sont extraites d'un document de synthèse rédigé par H.bonneviot et édité par Energies pour le Monde. [27]

Un tel système d'AEP comporte :

- Une source d'eau (puits ou forage) ;
- Un groupe moteur-pompe mécanique ;

Un champ photovoltaïque et des infrastructures (convertisseurs etc.)

; Un château d'eau (réservoir placée en hauteur) ;

Un réseau de tuyauteries ;

Des bornes fontaines publiques, parfois complétées par des branchements individuels.

Il n'y a généralement pas besoin de batterie, puisque c'est le réservoir qui joue le rôle de stockage. Par contre un booster de démarrage peut être nécessaire pour amorcer la pompe en début de journée dès que l'ensoleillement est suffisant. [27]

Le dimensionnement de chaque composant et l'évaluation des besoin en termes d'eau et d'énergie se révèle primordiale pour l'optimisation des performances du système de pompage photovoltaïque et cela en commençant par la source d'eau, sa profondeur de nappe, sa capacité et son évolution dans le temps seront déterminés, le réservoir remplira les fonction d'alimentation par gravité des points d'eau et le stockage de l'eau pour combler les périodes ou le pompage est à l'arrêt (nuit etc....) son volume sera calculé selon la production et les besoins. Il faudra en conséquence dimensionner les panneaux solaires de sorte à avoir une puissance suffisante pour faire fonctionner la pompe.

1.3.1 Convertisseurs électroniques de puissance :

Avec le développement de l'automatique, de l'électronique et de l'informatique on peut remplacer les « machines » par des convertisseurs statiques utilisant des composants électroniques en commutation. Les avantages de ces convertisseurs sont nombreux.

Contrôle et même régulation électronique possible du transfert de puissance

; Système moins lourd et moins encombrant ;

Excellent rendement ;

Facilité de mise œuvre grâce à l'automatisation

Protections de plus en plus efficace

Coût relatif en baisse, grâce aux progrès dans la fabrication et le montage des Composants ;

▪ Convertisseurs DC-DC :

Le hacheur est un convertisseur continu-continu permettant de convertir une énergie continue à un niveau donné de tension (ou de courant) en une énergie continue à un autre niveau de tension (ou de courant). Son utilisation s'avère nécessaire pour stocker l'énergie photovoltaïque dans des batteries, ou pour alimenter une charge continue. [21]

Les composants du hacheur sont basiques, condensateurs et inductances ce qui implique une consommation d'énergie active quasi nulle c'est pour cela que le rendement d'un hacheur

n'est presque pas détérioré. Le procédé de ces convertisseurs se base sur le découpage d'une tension ou courant continu à l'entrée, il en résulte à la sortie une tension ou un courant également en continu (généralement à très faible ondulation).

Le convertisseur DC-DC est l'organe qui doit forcer le GPV à fonctionner dans son point de puissance optimale via l'algorithme d'extraction du MPP. En effet l'algorithme MPPT fixe la tension de référence qui est la tension optimale ou le GPV travail à son maximum de puissance. Ainsi un rapport cyclique α est calculé afin de commander le convertisseur DC-DC. [28]

▪ Différents types de hacheurs

Nous prenons en considération que les convertisseurs unidirectionnels en courant et en tension, du fait que dans notre système de pompage photovoltaïque, l'influence d'énergie ne peut se faire que dans un seul sens et donc on considère les éléments suivants :

Des sources de tension non réversibles unidirectionnelles en courant des sources de courant non réversibles, unidirectionnelles en tension. Cela conduit à l'étude des convertisseurs DC-DC les plus simples. Dans ce cadre, on distingue trois familles de convertisseurs statiques (ou hacheurs) : hacheur abaisseur (ou BUCK), hacheur élévateur (ou BOOST) et hacheur série-parallèle.[21] Pour la suite de nos travaux, nous utilisons l'hacheur boost, idéal pour l'étage d'adaptation continu à la sortie du GPV.

▪ Convertisseur DC/AC

Les onduleurs de tension, associés aux machines à courant alternatif, sont de nos jours très largement utilisés dans les systèmes d'entraînement industriels. En premier lieu, les progrès en matière de semi-conducteur ont permis la réalisation de convertisseurs statiques de plus en plus performants. En second lieu, l'évolution des techniques numériques, notamment l'utilisation sans cesse grandissante du processeur de signaux (DSP, "Digital Signal Processing ") et des systèmes à base d'architecture reconfigurable (FPGA, "Field Programmable Gate Array "), permet désormais d'exécuter en temps réel des algorithmes complexes de contrôle des convertisseurs. Compte tenu de ces deux principales avancées technologiques, les techniques de MLI ont été l'objet de recherches intensives pendant ces dernières décennies. Un nombre important de méthodes, différentes par leur concept et leur performance ont été développées. La simplicité d'implantation restant cependant encore un critère important. Nous nous limiterons ici aux généralités sur les techniques de MLI à base de régulation à hystérésis pour un onduleur triphasé, puisque notre objectif est le contrôle de l'onduleur à trois bras alimentant un moteur asynchrone.

❖ Modulation par hystérésis

La commande par hystérésis appelé aussi commande en tout ou rien, est une commande non linéaire qui utilise l'erreur existante entre le courant de référence et le courant produit par l'onduleur, cette erreur est comparée à un gabarit appelé bande d'hystérésis. Le principe de cette méthode est expliqué à l'aide de la Figure (II.9). Dès que l'erreur atteint la bande inférieure ou supérieure, un ordre de commande est envoyé de manière à ce que cette erreur reste à l'intérieur de cette bande. Cette méthode est simple mais les commutations à l'intérieur de la bande d'hystérésis évoluent librement. On ne peut pas maîtriser correctement le spectre haute fréquence dû aux fréquences de commutations.

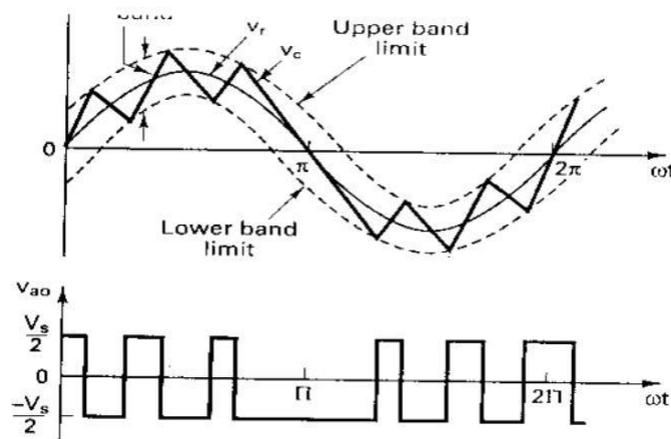


Figure (II.9) : Modulation par hystérésis.

II.3.2 Groupe moteur pompe

Quel que soit la pompe elle est constituée de trois parties distinctes :

La partie motrice, qui fournit la puissance

La transmission, qui transmet la puissance ;

La partie hydraulique, qui transmet cette puissance à l'eau pour la déplacer.

II.3.2.1 Moteurs

On peut voir fréquemment dans les systèmes de pompage photovoltaïque certains types de moteurs comme les moteurs à courant continu (excitation série, shunt, à aimant permanent etc.) et moteur alternatifs (Asynchrone, synchrone). Pour ce projet nous utilisons un moteur asynchrone à cage d'écureuil.

L'utilisation du moteur à courant alternatif pour les applications de pompage photovoltaïques est de plus en plus croissante puisque le coût peu élevé du moteur, son faible besoin de maintenance et l'efficacité accrue des onduleurs solaires le rendent particulièrement attrayant pour ce type de système. De dimension compacte, il est utilisé particulièrement pour le

pompage immergé dans les forages et les puits ouverts. De plus, l'utilisation d'onduleurs efficaces permet un contrôle de la vitesse du moteur et ce dernier point est recommandé pour des applications de pompage solaire.

Le moteur alternatif pour le pompage solaire est habituellement de type asynchrone, triphasé et à rotor en court-circuit (rotor à cage d'écureuil). Le rendement moyen d'un moteur asynchrone est de 85%. À ceci il faut ajouter le rendement de l'onduleur qui est de 90%-95% sur une plage de fonctionnement importante. Le rendement moyen du moteur/onduleur sera donc de 80% sur une plage de fonctionnement relativement importante. De plus, ces onduleurs sont équipés pour suivre le point de puissance maximale du champ photovoltaïque.

Selon les besoins de l'installation et du site, nous avons jugé plus utiles de choisir une machine asynchrone à cage d'écureuil adéquate ; suite à ses nombreux avantages de robustesse et d'entretien minimal, de plus son cout est moins cher par rapport aux autres machines.

II.3.2.2 Pompes

L'eau est une ressource essentielle et il faut pouvoir l'extraire quel que soit l'endroit de la planète. L'organe essentiel pour l'extraction de l'eau est la pompe [29].

Une pompe est une machine capable de transformer une énergie mécanique en énergie hydraulique. Il existe plusieurs types de pompes disponibles pour les systèmes de pompage photovoltaïques. On distingue principalement deux types de pompes ; Les pompes centrifuges et les pompes volumétriques et principalement deux modes d'utilisation, en surface ou immergée, en charge ou en aspiration. Ces deux types de pompes sont communément employés dans les installations photovoltaïques de pompage d'eau.

La première pompe construite plus spécifiquement pour le solaire a sans doute été la Solarjack (USA) dès la fin des années 1980. Il s'agit d'une électropompe monobloc immergée, c'est-à-dire que la pompe et le moteur ne font qu'un : On ne parle pas d'accouplement car l'arbre moteur est aussi une pièce de la pompe. Plusieurs fabricants ont repris la même architecture. [23]

La courbe caractéristique peut être "plate" ou "raide", suivant la réalisation du projet de la pompe et l'installation dans laquelle elle doit être intégrée. Comme le note la figure (I.10), les pompes qui présentent une courbe caractéristique plate donnent lieu à des variations faibles de hauteur manométrique pour des fortes amplitudes de débit, tandis que les pompes qui présentent une courbe caractéristique raide donnent lieu à des variations de débit faibles pour des variations de hauteur manométrique élevées. Par conséquent, les pompes du premier type seront préférées quand on désirera une hauteur manométrique plus ou moins constante avec un débit variable dans des marges étendues (pompes destinées aux installations contre les incendies).

Les pompes du deuxième type devront être choisies quand on voudra un débit presque constant avec une hauteur manométrique variable dans une aire relativement vaste (pompage de puits). [30]

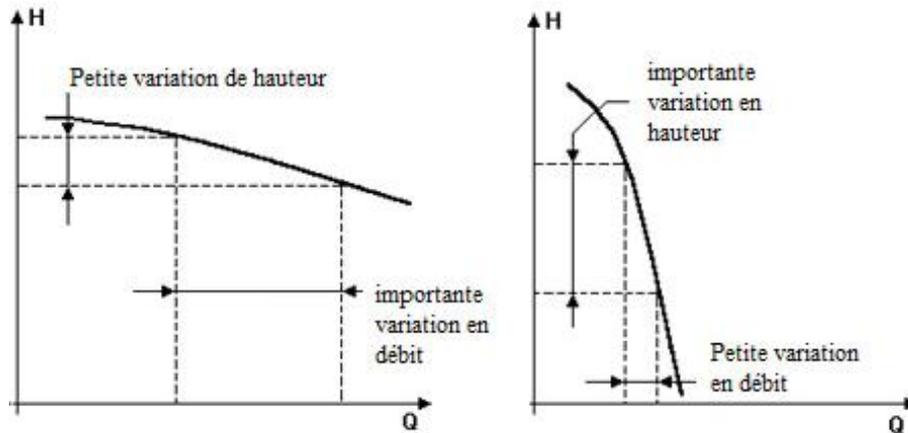


Figure (II.10) : Courbes caractéristiques d'allure plate et raide.

Le rendement total d'une pompe tient compte de trois genres de perte de charge qui ont lieu dans cette pompe :

Les pertes hydrauliques c'est-à-dire les pertes dues au frottement et à la formation de tourbillons.

Les pertes volumétriques qui sont causées par les fuites du liquide à travers les jeux de la pompe

Les pertes mécaniques, c'est-à-dire les pertes dues au frottement mécanique dans les paliers ; les presse-étoupes ...etc

II.4.Structure du système de pompage à étudier :

La structure du système de pompage photovoltaïque est composée de : quatorze (14) panneaux photovoltaïque de 110W, un hacheur boost, un onduleur MLI, une machine asynchrone de 1500W couplée à une pompe centrifuge et un réservoir. La nature du site nous impose une longueur de conduits et des hauteurs d'aspiration à connaître obligatoirement afin de définir un choix sur les types de pompes centrifuges. Ci-dessous une illustration du système de pompage photovoltaïque implantée dans le site du forage.

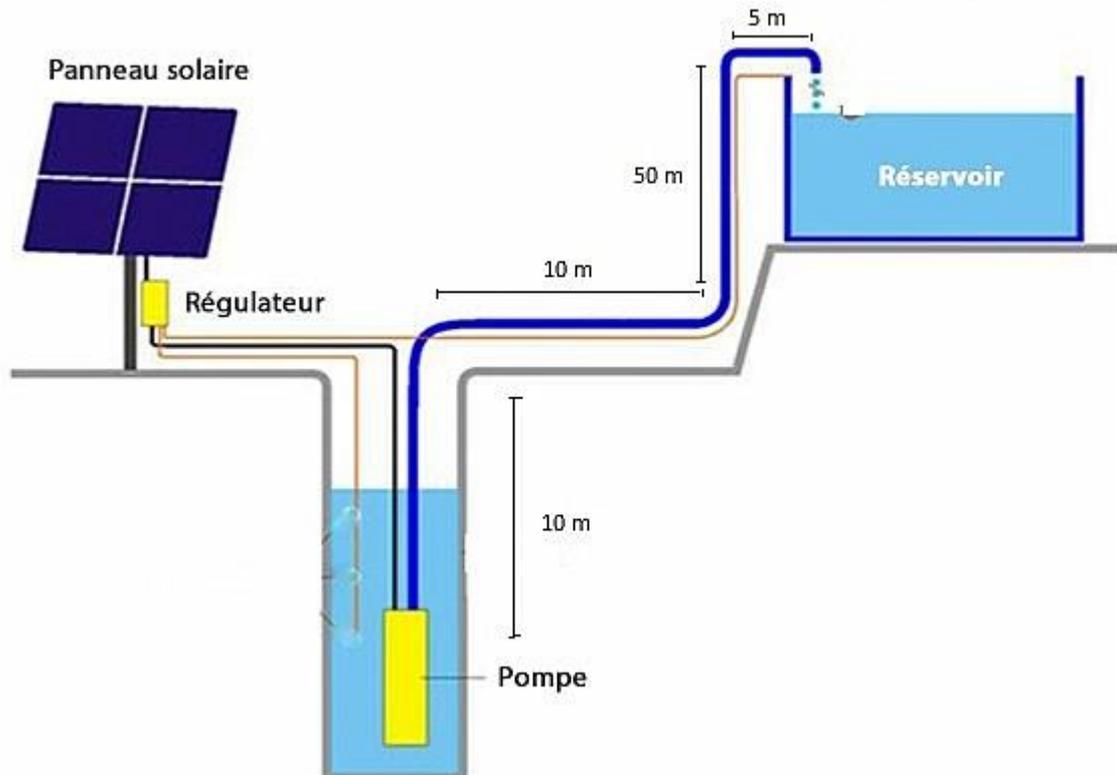


Figure (II.11) : Système de pompage photovoltaïque

II.5.Conclusion :

Ce chapitre a été consacré à l'établissement des généralités et des définitions du système de pompage photovoltaïque ainsi que la prise de connaissance des différents composants de ce système, tels que , les panneaux photovoltaïques, les batteries, les régulateurs de tension du courant continu au courant alternatif, ainsi, leurs types que se soient pour les panneaux poly cristallins et monocristallin , et aussi pour les pompes et les différents composants. L'identification d'un tel système de pompage photovoltaïque, nous permet de pouvoir mieux assimiler et entamer la suite de ce travail de modélisation et de simulation.