

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun de Tiaret

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique



## PROJET DE FIN DE CYCLE

### MASTER

**Domaine :** Sciences et Technologie

**Filière :** Génie Mécanique

**Parcours :** Master

**Spécialité :** Énergétique

#### Thème

Etude et dimensionnement d'un système  
de pompage photovoltaïque à partir  
d'une rivière

Préparé par :

**BENSEDIRA Rabeh**

**BENAZIZ Mourad**

Soutenu publiquement le : 22 / 07 / 2022, devant le jury composé de :

M. AKERMI. N	Maître de Conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Président
M. KARAS. A	Professeur (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M. BEY. M	Maître de Conférences "B" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M. MOULGADA A	Maître de Conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Encadrant

## *Remerciement*

*Avant tout nous tenons nos remerciements à notre dieu "Allah" de nous avoir donné la force et le courage.*

*Nous tenons à exprimer toute nos reconnaissance à mon encadreur de mémoire Monsieur Dr. MOULGADA Abdelmadjid. Nous le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.*

*Merci pour le temps qu'il a bien vu me dispenser et les aiguillages qu'il m'a apportés*

*Nos remerciements vont également à tous nos enseignants, les responsables et personnel du département de Génie mécanique de l'université de IBN KHALDOUN de Tiaret.*

*Enfin nous remercions tous nos amis.*

## *Dédicace*

Dieu soit loué, par la grâce duquel nous avons  
achevé ce travail.

A cette occasion, nous dédions notre dévotion  
toute particulière à la généreuse famille qui  
nous 'a soutenu durant ces longues années  
d'études.

Nous nous souvenons en particulier de nos  
parents comme un symbole d'amour et du  
respect que nous leur portons et, du haut de  
cette chaire, nous rendons hommage aux  
défunts Benaziz Alhabib et Bensedira Brahim.

Nous remercions également tous les membres  
de notre famille, nos amis et ceux qui nous ont  
soutenus de près ou de loin

## Chapitre I : Les différentes sources des énergies renouvelables

I.1 Introduction.....	01
I.2 Définition des énergies renouvelables .....	03
I.3 Définition de l'énergie éolienne .....	04
I.3.1 Les différents types d'éoliennes.....	04
I.3.1.1 Eoliennes à axe vertical .....	05
I.3.1.2 Eoliennes à axe horizontal .....	05
I.3.2 Principe de fonctionnement d'une éolienne.....	05
I.3.3 Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne .....	07
I.3.3.1 Avantages.....	07
I.3.3.2 Inconvénients .....	07
I.4 Energie solaire .....	07
I.4.1 Types de l'énergie solaire .....	08
I.4.1.1 L'énergie solaire thermique.....	08
I.4.1.2 L'énergie solaire photovoltaïque .....	08
I.4.1.3 l'énergie solaire passive.....	08
I.4.2 Principe de fonctionnement de l'énergie solaire .....	08
I.4.3 Avantages et les inconvénients .....	09
I.4.3.1 Avantages de l'énergie solaire.....	09
I.4.3.2 Inconvénients de l'énergie solaire .....	10
I.5 Energie hydraulique .....	10
I.5.1 Types d'énergie hydraulique .....	11
I.5.1.1 Énergie Marémotrice .....	11
I.5.1.2 Barrage hydraulique.....	12
I.5.1.3 Energie houlomotrice .....	12
I.5.1.4 Energie thermique.....	12
I.5.1.5 Energie osmotique.....	13
I.5.2 Principe de fonctionnement des systèmes hydrauliques .....	13
I.5.3 Avantages et les inconvénients .....	14
I.5.3.1 Avantages.....	14
I.5.3.2 Inconvénients .....	14
I.6 Energie géothermique .....	15

I.6.1 Différents types de gisements géothermiques.....	16
I.6.2 Principe de fonctionnement géothermique .....	17
I.6.3 Avantages et inconvénients de la géothermie .....	17
I.6.3.1 Avantages.....	17
I.6.3.2 Inconvénients .....	18
I.7 L'énergie de la biomasse .....	18
I.7.1 Types de la biomasse .....	19
I.7.1.1 Biomasse sèche .....	19
I.7.1.2 Biomasse humide .....	20
I.7.2 Principe de fonctionnement de la biomasse .....	20
I.7.2.1 La combustion.....	20
I.7.2.2 La production de vapeur .....	20
I.7.2.3 La production de l'électricité .....	20
I.7.2.4 Le recyclage .....	21
I.7.3 Avantages et Inconvénients .....	21
I.7.3.1 Avantages.....	21
I.7.3.2 Inconvénients .....	22
I.8 Conclusion .....	22

## **Chapitre II : Etude détaillée sur le rayonnement solaire**

II.1 Introduction .....	23
II.2 Origine de l'énergie solaire .....	23
II.3 Trajectoire du soleil .....	24
II.4 Nature du rayonnement solaire .....	26
II.4.1 Répartition spectrale du rayonnement solaire.....	27
II.4.2 La constante solaire .....	28
II.5 Source du rayonnement solaire.....	29
II.6 Influence de l'atmosphère terrestre sur le rayonnement solaire .....	29
II.6.1 Composition de l'atmosphère .....	29
II.6.2 Absorption de rayonnement solaire .....	31
II.6.3 Phénomène de diffusion du rayonnement solaire.....	31
II.6.4 Distribution du rayonnement solaire par l'atmosphère .....	32
II.7 Le rayonnement solaire au sol .....	33

II.7.1 Le rayonnement direct .....	33
II.7.2 Le rayonnement diffus .....	33
II.7.3 Le rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol .....	34
II.7.4 Le rayonnement global .....	34
II.8 Caractéristiques du rayonnement solaire .....	35
II.9 Le rayonnement solaire à la surface de la terre .....	35
II.9.1 La quantité du rayonnement solaire reçue par la terre.....	35
II.10 L'énergie émise par la Terre .....	36
II.10.1 La chaleur latente.....	37
II.10.2 La chaleur sensible .....	37
II.11 Estimation du rayonnement sur un plan quelconque.....	38
II.11.1 Rayonnement direct.....	38
II.11.2 Rayonnement diffus.....	38
II.11.3 Rayonnement réfléchi.....	39
II.12 Récepteur solaires .....	39
II.12.1 Types de récepteur solaires.....	39
II.12.1.1 solaires photovoltaïques : .....	39
II.12.1.2 solaires thermiques .....	39
II.12.2 Position du capteur .....	39
II.13 Conclusion .....	40

### **Chapitre III : Simulation et interprétation**

III.1 Introduction .....	42
III.2 Présentation du projet .....	42
III.2 Pertes de charge.....	43
III.3 Logiciel PVSYST .....	44
III.3.1 Données de localisation du site .....	45
III.3.2. Données météorologiques du site.....	45
III.4. Coordonnées Géographiques.....	46
III.5 Trajectoire du soleil.....	46
III.6. Schéma de l'installation PV .....	47
III.7. Rapport de simulation (En Annexe).....	51
III.8. Modules photovoltaïques .....	51

III.8.1 Branchement de PV pour notre système de pompage.....	51
III.8.2. Energie champ, virtuelle au MPP [KWh] .....	54
III.8.3. Energie de fonctionnement pompe [KWh] .....	54
III.8.4. Energie inutilisée (réservoir plein) [KWh].....	55
III.8.5. Pression totale moyenne à la pompe (mCE) .....	56
III.8.6. Eau pompée [m <sup>3</sup> /jour] .....	56
III.9. Caractéristiques de la pompe immergée.....	57
III.9.1. Productions normalisées.....	58
III.9.2. Indice de performance .....	59
III.9.3. Facteurs normalisés de production .....	59
III.10 Conclusion.....	61

## Chapitre I

<b>Figure I.1</b> : Energie éolienne. ....	04
<b>Figure I.2</b> : Principe de fonctionnement d'une éolienne.....	07
<b>Figure I.3</b> : Energie solaire.....	08
<b>Figure I.4</b> : Présentatif d'un capteur solaire .....	09
<b>Figure I.5</b> : Energie hydraulique .....	11
<b>Figure I.6</b> : Energie marémotrice .....	11
<b>Figure I.7</b> : Barrage hydraulique .....	12
<b>Figure I.8</b> : Energie houlomotrice .....	12
<b>Figure I.9</b> : Energie thermique.....	13
<b>Figure I.10</b> : Energie osmotique .....	13
<b>Figure I.11</b> : Schéma de principe d'une centrale hydraulique .....	14
<b>Figure I.12</b> : Schéma de principe de la production de l'énergie géothermique .....	15
<b>Figure I.13</b> : Principe de centrale géothermique .....	17
<b>Figure I.14</b> : Energie de biomasse.....	19
<b>Figure I.15</b> : Biomasse sèche .....	19
<b>Figure I.16</b> : Biomasse humide .....	20
<b>Figure I.17</b> : Principe de centrale biomasse .....	21

## Chapitre II

<b>Figure II.1</b> : Origine de l'énergie solaire .....	24
<b>Figure II.2</b> : Trajectoires apparentes du soleil .....	25
<b>Figure II.3</b> : Définition de la position du soleil.....	26
<b>Figure II.4</b> : Le spectre solaire.....	27
<b>Figure II.5</b> : La constante solaire .....	28
<b>Figure II.6</b> : La troposphère .....	29
<b>Figure II.7</b> : La stratosphère.....	30
<b>Figure II.8</b> : Influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire.....	30
<b>Figure II.9</b> : Spectre d'absorption du rayonnement atmosphère.....	31
<b>Figure II.10</b> : Distribution de rayonnement solaire par l'atmosphère .....	33
<b>Figure II.11</b> : Types de rayonnement solaire reçus au sol .....	34
<b>Figure II.12</b> : Rayonnement solaire capté par un plan horizontal et incliné.....	35
<b>Figure II.13</b> : Le rayonnement solaire à la surface de la terre .....	36
<b>Figure II.14</b> : Le bilan radioactif complet de la planète.....	37
<b>Figure II.15</b> : La chaleur latente .....	38



### Chapitre III

<b>Figure III.1</b> : Schéma du principe de pompage au fil du soleil .....	42
<b>Figure III.2</b> : Description détaillée des différentes hauteurs. ....	43
<b>Figure III.3</b> : Interface de logiciel PVSYST .....	44
<b>Figure III.4</b> : Emplacement géographique de la wilaya de Tiaret. ....	45
<b>Figure III.5</b> : Trajectoire du soleil à Tiaret .....	46
<b>Figure III.6</b> : Orientation et inclinaison du système PV. ....	47
<b>Figure III.7</b> : Besoins journaliers en eau. ....	47
<b>Figure III.8</b> : Schéma simplifié d'une installation PV autonome. ....	48
<b>Figure III.9</b> : Besoins en eau et différents paramètres du projet.....	48
<b>Figure III.10</b> : Choix des modules et des onduleurs correspondants de notre système de pompage .....	49
<b>Figure III.11</b> : Schéma d'un onduleur de notre système de pompage. ....	49
<b>Figure III.12</b> : Choix de la pompe avec ses caractéristiques adaptables au système en étude. ....	50
<b>Figure III.13</b> : Schéma d'une pompe générique (700 W 15-40m Surf. DC. Centrifuge).....	50
<b>Figure III.14</b> : Interface globale du PVsys pour simulation. ....	50
<b>Figure III.15</b> : Dimensions et caractéristiques des panneaux photovoltaïques.....	52
<b>Figure III.16</b> : Modèle d'un panneaux photovoltaïques. ....	52
<b>Figure III.17</b> : Energie champ, virtuelle au MPP .....	54
<b>Figure III.18</b> : Energie de fonctionnement de la pompe.....	54
<b>Figure III.19</b> : Energie inutilisée (réservoir plein).....	55
<b>Figure III.20</b> : Pression totale moyenne à la pompe. ....	56
<b>Figure III.21</b> : Eau pompée par jour. ....	56
<b>Figure III.22</b> : Différentes caractéristiques de la pompe et de l'onduleur de régulation.....	57
<b>Figure III.23</b> : Productions normalisées (par kWp).....	58
<b>Figure III.24</b> : Indice de performance (PR) et Fraction solaire (SF). ....	59
<b>Figure III.25</b> : Facteurs normalisés de production et de pertes. ....	59
<b>Figure III.26</b> : Energie incidente de référence dans le plan capteur. ....	60
<b>Figure III.27</b> : Principaux résultats et paramètres de simulation.....	60

## Liste des tableaux

**Tableau III.1** : Caractéristiques climatiques du site de Tiaret

**Tableau III.2** : Coordonnées géographiques du site de Tiaret.

**Tableau III.3** : Les différentes données de la simulation (projet de pompage).

**Tableau III.4** : Bilans globales et résultats principaux.

**Tableau III.5** : Tableau de définition de symbolisation des énergies.

**HMT** : La hauteur manométrique

**µm** : micromètre

**Kg** : kilogramme

**H** : heure

**Km** : kilomètre

**HZ** : Hertz

**M** : la masse en kilogramme (Kg)

**ER** : Energies renouvelable

**PV** : Panneaux Photovoltaïques

**T** : Température degré Celsius (C°)

**WC** : Watt crête

**PVSYST** : Photovoltaïque system

**KWh** : Kilo watt-heure

**mCE** : mètres de colonnes d'eau

**P** : puissance en watt (W)

**U** : tension en volt (V)

**I** : Intensité de courant en Ampère (A)

**MPPT** : Maximum Power Point Tracking / Point de Puissance Maximale

**Hs** : Hauteur statique en mètre (m)

**S** : surface en mètre carré (m<sup>2</sup>)

**V** : volume en mètre cube (m<sup>3</sup>)

**CC/AC** : Courant Continu/ Courant Alternatif

**CC/CC** : Courant Continu/ Courant Continu



# Introduction générale

## **Introduction générale**

La demande croissante d'eau dans les zones rurales et sites isolés a fait qu'un intérêt grandissant est porté sur l'utilisation des générateurs photovoltaïques comme source d'énergie aux groupes moteur-pompes. En effet la réalisation de systèmes de pompage autonomes, fiables et à bon rendement constitue une solution pratique et économique au problème du manque d'eau dans les régions désertiques.

Les sources naturelles telles que le soleil, l'eau, le vent et la chaleur de la terre, appelées aussi sources des énergies renouvelables, ont assuré le développement de l'humanité, l'eau et le soleil sont les éléments de notre quotidien, ils sont importants surtout dans les régions éloignées, désertique ou montagneuses comme le sud de l'Algérie, l'augmentation de la demande en eau pour ces régions est donc une problématique de développement durable.

Le pompage d'eau est un facteur important dans le développement des zones rurales et isolées des pays en développement. L'utilisation de système de pompage photovoltaïque (PV) pour l'exhaure de l'eau dans ces zones s'avère une solution très fiable à condition d'être bien dimensionner. Le dimensionnement des systèmes PV, en particulier ceux de pompage d'eau, nécessite l'utilisation de modèle qui reflète la réalité et ils se doivent d'être précis.

Actuellement, deux systèmes de pompage photovoltaïque sont utilisés, avec et sans batteries. Mais le système qu'on a choisi est au fil du soleil ce procédé consiste à pomper l'eau tant que le soleil est présent vers un réservoir qui assure la régulation de la consommation. Ainsi, le consommateur peut être alimenté même la nuit et pendant les journées nuageuses. L'eau pompée peut être employée dans beaucoup d'applications, telles que l'utilisation domestique et l'irrigation.

Ce système est le plus simple puisque l'énergie photovoltaïque est utilisée directement à partir des panneaux. La pompe ne fonctionnera qu'en présence de la lumière et dès que l'éclairement sera suffisant elle atteint la puissance demandée. La particularité des pompes solaires installées au fil du soleil est que les caractéristiques (débit, pression, rendement) sont en fonction de l'éclairement qui varie au cours de la journée et au cours des saisons.

Dans notre étude nous sommes intéressés à la modélisation et la simulation d'un système de pompage photovoltaïque optimisé localisé dans la wilaya de Tiaret, dans un site isolé, de ce fait, le présent mémoire est subdivisé en trois chapitres :

Le premier chapitre comporte les différentes sources des énergies renouvelables.

Le second chapitre expose une étude détaillée sur le rayonnement solaire dans un site isolé au fil du soleil dans la wilaya de Tiaret.

Le troisième chapitre est consacré à une simulation par un logiciel de modélisation photovoltaïque PVsyst avec des interprétations correspondantes des résultats.

En fin une conclusion générale il comprend tous les résultats de la simulation et perspectives.

# Chapitre I :

## Les différentes des énergies sources renouvelables

## **I.1 Introduction**

L'énergie est nécessaire dans toutes nos activités quotidiennes pour la production de la chaleur, de l'électricité, dans l'industrie, pour la construction et dans les transports. Depuis que l'industrialisation a commencé, il y a plus de 200 ans, la richesse économique a été immédiatement liée avec l'accès aux combustibles fossiles pour la production énergétique, en premier lieu le charbon, mais plus récemment le pétrole et le gaz. Le problème de la consommation d'énergie est devenu de plus en plus important, des inquiétudes concernant les effets de la croissance économique sur la consommation excessive des ressources naturelles et de l'impact sur l'environnement, en particulier l'atmosphère, ont été notées, [1] augmentation de l'effet de serre, pollution atmosphérique, pollution des sols, pollution des eaux et pluies acides. Pour résoudre ce problème, des politiques énergétiques de développement ont été conduites pour exploiter au mieux les ressources en énergies renouvelables existantes. Les technologies mises en œuvre sont très importantes et font appel au génie électrique et aux matériaux de pointe, [2]. Les énergies renouvelables comme les énergies : solaire, éolienne, hydraulique, géothermique, marémotrice et de la biomasse sont des énergies de flux, on les oppose aux énergies fossiles qui sont disponibles sous forme de réserve.

## **I.2 Définition des énergies renouvelables**

Une énergie renouvelable est une source d'énergie se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de temps humain [3]. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le soleil (rayonnement), mais aussi la lune (marée) et la terre (énergie géothermique).

Soulignons que le caractère renouvelable d'une énergie dépend non seulement de la vitesse à laquelle la source se régénère, mais aussi de la vitesse à laquelle elle est consommée. Le comportement des consommateurs d'énergie est donc un facteur à prendre en compte dans cette définition. Les énergies renouvelables sont également plus « propres » (moins d'émissions de CO<sub>2</sub>, moins de pollution) que les énergies issues de sources fossiles.

Les principales énergies renouvelables sont :

- L'énergie hydraulique
- L'énergie solaire



- L'énergie éolienne
- La géothermie
- L'énergie de biomasse

### I.3 Définition de l'énergie éolienne

Un aérogénérateur, plus communément appelé éolienne, est un dispositif qui transforme une partie de l'énergie cinétique du vent (fluide en mouvement) en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice (Figure I.1).



**Figure I.1 :** Energie éolienne. [4]

L'énergie éolienne est une énergie "renouvelable" non dégradée, géographiquement diffuse, et surtout en corrélation saisonnière (l'énergie électrique est largement plus demandée en hiver et c'est souvent à cette période que la moyenne des vitesses des vents est la plus élevée). De plus, c'est une énergie qui ne produit aucun rejet atmosphérique ni déchet radioactif. Elle est toutefois aléatoire dans le temps et son captage reste assez complexe, nécessitant des mâts et des pales de grandes dimensions (jusqu'à 60 m pour des éoliennes de plusieurs mégawatts) dans des zones géographiquement dégagées pour éviter les phénomènes de turbulences [5].

#### I.3.1 Les différents types d'éoliennes

Les éoliennes se divisent en deux grandes familles : celles à axe vertical et celles à axe horizontal.

### **I.3.1.1 Eoliennes à axe vertical**

Les éoliennes à axe vertical ont été les premières structures développées pour produire 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 depuis des années, dont beaucoup sans succès, mais deux structures sont parvenues au stade de l'industrialisation [6] :

- Le rotor de savonius (du nom de son inventeur, breveté en 1925) dont le fonctionnement est basé sur le principe de "traînée différentielle" utilisé dans les anémomètres : les efforts exercés par le vent sur chacune des faces d'un corps creux sont d'intensité différente, il en résulte alors un couple moteur entraînant la rotation de l'ensemble. L'effet est ici renforcé par la circulation d'air entre deux demi-cylindres qui augmente le couple moteur

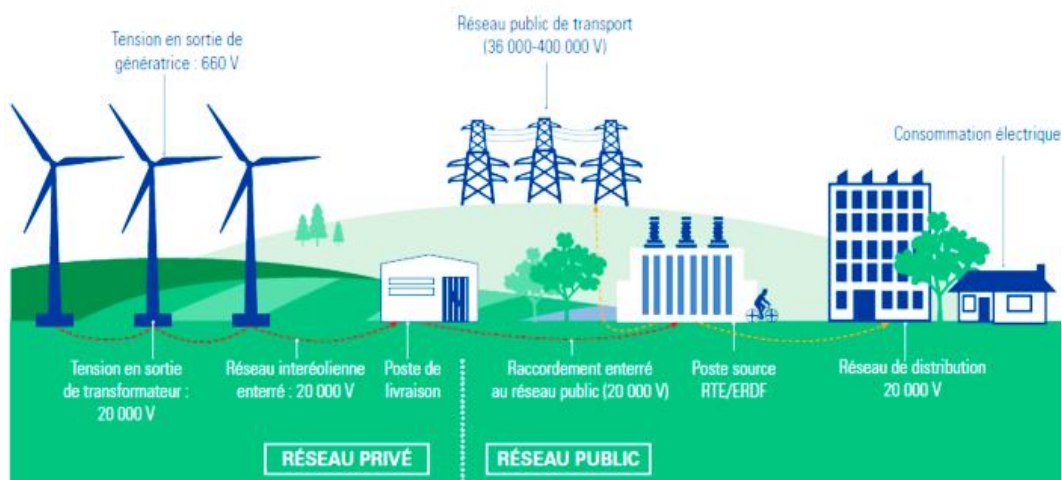
### **I.3.1.2 Eoliennes à axe horizontal**

Les éoliennes à axe horizontal sont basées sur la technologie ancestrale des moulins à vent. Elles sont constituées de plusieurs pales profilées aérodynamiquement 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, le rotor tripale étant le plus utilisé car il constitue un compromis entre le coefficient de puissance, le coût et la vitesse de rotation du capteur éolien [7]. Ce type d'éolienne a pris le dessus sur celles à axe vertical car elles représentent un coût moins important, elles sont moins exposées aux contraintes mécaniques et la position du récepteur à plusieurs dizaines de mètres du sol privilégie l'efficacité. Notons cependant que certains travaux défendent la viabilité du rotor vertical en réalisant des études multi critères [8]. Les concepts abordés dans la suite de cette étude se limiteront uniquement au cas des éoliennes à axe horizontal.

### **I.3.2 Principe de fonctionnement d'une éolienne**

Sous l'effet du vent, le rotor tourne. Dans la nacelle, l'arbre principal entraîne un alternateur qui produit l'électricité. La vitesse de rotation du rotor (de 12 à 15 tours/minute) doit être augmentée par un multiplicateur de vitesse jusqu'à environ 1500 tours/minute, vitesse nécessaire au bon fonctionnement de l'alternateur. Des convertisseurs électroniques de puissance ajustent la fréquence du courant produit par l'éolienne à celle du réseau électrique auquel elle est raccordée (50 Hz en Europe), tout en permettant au rotor de l'éolienne de tourner à vitesse variable en fonction du vent. La tension de l'électricité produite par l'alternateur, de

l'ordre de 600 à 1000 volts, est ensuite élevée à travers un transformateur de puissance, situé dans la nacelle ou à l'intérieur du mât, jusqu'à un niveau de 20 ou 30 kV. Ce niveau de tension permet de véhiculer l'électricité produite par chacune des éoliennes d'une centrale éolienne jusqu'au point de raccordement au réseau électrique public (en France, le réseau EDF). La tension de l'électricité produite par la centrale peut alors être de nouveau transformée, en fonction du niveau de tension de raccordement de la centrale au réseau public. Pour les centrales éoliennes de 10 à 15 MW de capacité, le niveau de tension de raccordement est, en France, généralement de 20kV. Pour les centrales de capacité plus importante, le niveau de tension de raccordement peut aller de 60 à 90kV, voire même 225 kV. Pour pouvoir démarrer, une éolienne a besoin d'une vitesse de vent minimale, de l'ordre de 10 à 15 km/h. Et au-delà de 90 km/h, les turbines s'arrêtent de tourner. Tout d'abord, la fréquence d'occurrence des vents d'une vitesse supérieure à 90 km/h est généralement faible (inférieure à 1 %), et si les éoliennes fonctionnaient dans ces conditions, elles subiraient des efforts importants qui entraîneraient une usure prématurée de leurs équipements. Compte tenu du faible gain relatif sur la production que représente un fonctionnement par vent fort, les ingénieurs préfèrent, dans ces conditions, stopper les machines et attendre le retour de vents plus modérés et plus réguliers. Si les éoliennes ne fonctionnent pas au-delà d'une vitesse de vent de 90 km/h, leurs fondations n'en sont pas moins conçues pour résister à des vents beaucoup plus importants... La puissance d'une éolienne classique est de 1 à 1,5 MW, mais les éoliennes de la nouvelle génération atteignent 2 à 3 MW et des modèles de 5 MW sont d'ores et déjà testés par les constructeurs [9].



**Figure I.2 :** Principe de fonctionnement d'une éolienne

### **I.3.3 Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne**

#### **I.3.3.1 Avantages**

- L'énergie éolienne n'est pas non plus une énergie de risque comme l'est l'énergie nucléaire et ne produit évidemment pas de déchets radioactifs.
- Les éoliennes en fonctionnement peuvent facilement être arrêtées, contrairement aux procédés continus de la plus part des centrales thermiques et des centrales nucléaires.
- Les parcs éoliens se démontent très facilement et ne laissent pas de trace.

#### **I.3.3.2 Inconvénients**

- L'impact visuel, ça reste néanmoins un thème subjectif.
- Le bruit : il a nettement diminué, notamment le bruit mécanique qui a pratiquement disparu grâce aux progrès réalisés au niveau du multiplicateur. Le bruit aérodynamique quant à lui est lié à la vitesse de rotation du rotor, et celle-ci doit donc être limitée.
- L'impact sur les oiseaux : certaines études montrent que ceux-ci évitent les aérogénérateurs. D'autres études disent que les sites éoliens ne doivent pas être implantés sur les parcours migratoires des oiseaux, afin que ceux-ci ne se fassent pas attraper par les aéro turbines.

### **I.4 Energie solaire**

Le rayonnement énergétique qui nous provient du soleil résulte des réactions de fusion nucléaire qui ont lieu à sa surface (transformation d'hydrogène en hélium). La puissance ainsi dégagée à sa surface est d'environ 66 millions de watts par m<sup>2</sup>. La puissance maximale directement récupérable à la surface de la terre est d'environ 1kW par m<sup>2</sup>, [10].

La puissance solaire est le terme employé pour décrire l'énergie dérivée directement du soleil, sa lumière a été utilisée par les humains pour sécher les récoltes, réchauffer l'eau et les bâtiments, c'est une énergie qui ne s'épuise pas. L'énergie émise par le soleil voyage jusqu'à la terre sous forme de rayonnement électromagnétique. Ce rayonnement est semblable aux ondes radioélectriques mais il possède une gamme de fréquence différente, [11].



**Figure I.3** : Energie solaire [12]

#### **I.4.1 Types de l'énergie solaire**

##### **I.4.1.1 L'énergie solaire thermique**

Consiste tout simplement à produire de la chaleur grâce à des panneaux solaires. On peut aussi produire de la vapeur à partir de la chaleur du soleil puis convertir la vapeur en électricité.

##### **I.4.1.2 L'énergie solaire photovoltaïque**

Consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière à l'aide de panneaux solaires. Cette forme d'énergie est déjà exploitée dans de nombreux pays, surtout dans les pays ou les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles tels que les hydrocarbures ou le charbon.

##### **I.4.1.3 l'énergie solaire passive**

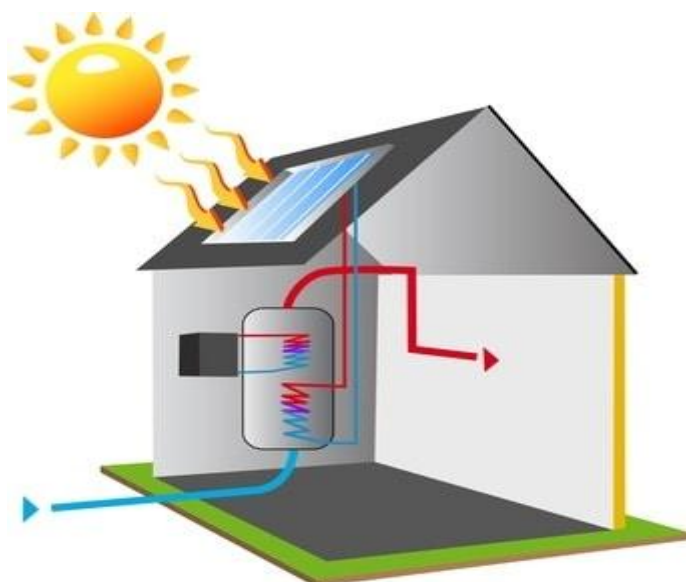
Est une autre forme d'utilisation de l'énergie solaire qui consiste à utiliser directement la lumière pour le chauffage. [13]

#### **I.4.2 Principe de fonctionnement de l'énergie solaire**

L'énergie solaire fonctionne différemment selon le type de panneaux installés. Pour obtenir de l'eau chaude, vous devez installer des panneaux thermiques.

Ces derniers absorbent l'énergie du soleil qui chauffe un liquide injecté dans un panneau noir. À la suite de ce trajet, le liquide est converti en chaleur qui servira à réchauffer l'eau contenue dans le ballon de la maison. Les panneaux solaires photovoltaïques sont utilisés pour créer de l'électricité. Composés de cellules photovoltaïques, ils captent les rayons du soleil et libèrent des photons.

Ces derniers se déplacent et produisent un courant électrique. Les panneaux photovoltaïques sont combinés avec un onduleur qui module l'électricité créée et le transforme en courant alternatif compatible avec le réseau. Un compteur vient compléter l'installation solaire. Ce dernier permet aux utilisateurs de mesurer la quantité de courant alimentant le réseau [14].



**Figure I.4 :** Présentatif d'un capteur solaire [15]

### **I.4.3 Avantages et les inconvénients [16]**

#### **I.4.3.1 Avantages de l'énergie solaire**

L'énergie solaire est une énergie renouvelable. L'origine de cette prime énergie est le soleil. Bien que le soleil ait une durée de vie limitée, à l'échelle humaine, il est considéré comme une source d'énergie inépuisable.

Faible pollution et respect de l'environnement. La production d'énergie électrique ou d'eau chaude sanitaire n'est pas polluante et ne génère pas de gaz à effet de serre. L'utilisation de cette technologie implique que les énergies fossiles qui utilisent des combustibles fossiles peuvent être réduites. Pour cette raison, elle est considérée comme une énergie



propre.

Les installations ont un faible coût d'installation. Le coût d'une installation solaire permet de réaliser des économies par rapport à d'autres types d'installations telles qu'une centrale nucléaire est très faible. En plus, parfois il y a d'aides financières.

#### **I.4.3.2 Inconvénients de l'énergie solaire**

L'efficacité énergétique est médiocre par rapport à d'autres sources d'énergie. Le rapport entre la quantité d'énergie reçue et la quantité d'énergie électrique obtenue est faible. Surtout par rapport à d'autres sources d'énergie comme le nucléaire.

Le coût économique par rapport aux autres options. Surtout dans les grandes centrales solaires, l'investissement initial est élevé. Les installations solaires ont une durée estimée de 20 ans.

La performance est fonction de la météo. Par exemple, dans les zones à ciel généralement nuageux, les performances sont très faibles.

### **I.5 Energie hydraulique**

Depuis des millénaires, l'homme utilise la force de l'eau. Domesticquer tout d'abord pour moudre le grain, elle a ensuite actionné des forges, des métiers à tisser, des scies et toutes sortes de machines, [17].

L'énergie hydraulique (de l'eau) est une des vieilles sources d'énergie, elle est fournie par les barrages hydroélectriques. Cette énergie utilise la force de l'eau en mouvement pour créer de l'électricité. Cette électricité est produite par un générateur, une fois que l'eau en mouvement est passée à travers une turbine. Les stations hydroélectriques exigent souvent de grands barrages car ils permettent de contrôler l'alimentation en eau en fonction de la demande en énergie. La production globale d'énergie hydroélectrique peut être importante car les réserves en eau disponibles et utilisables sont largement répandues. La figure (I.5) montre le principe de fonctionnement d'une centrale hydraulique.

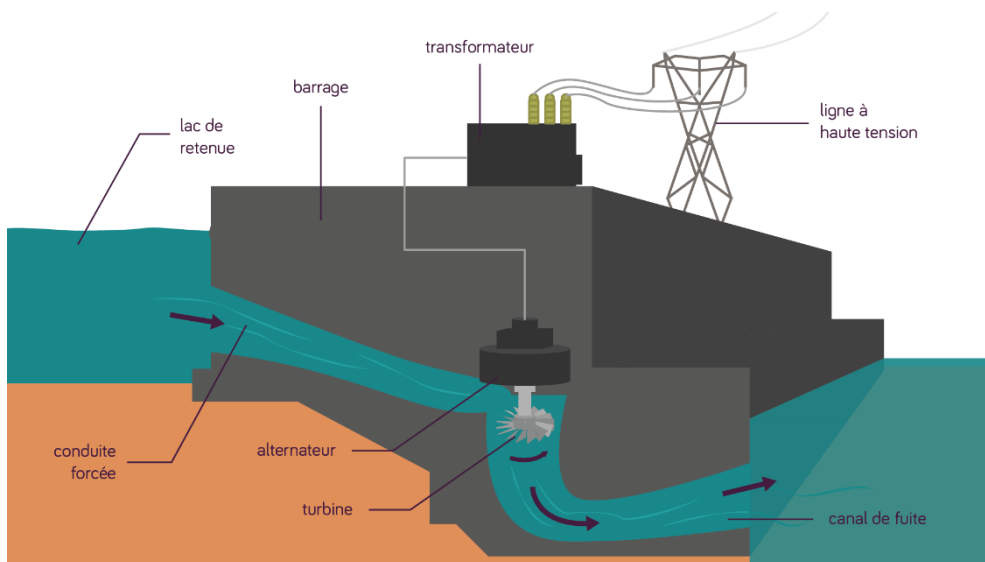


**Figure I.5 : Energie hydraulique [18]**

## **I.5.1 Types d'énergie hydraulique**

### **I.5.1.1 Énergie Marémotrice**

L'énergie marémotrice est une énergie basée sur le mouvement ascendant et descendant d'une grande quantité d'eau mobilisée par les phénomènes de marée, et l'énergie marémotrice est récupérée à travers le barrage de l'estuaire.



**Figure I.6 : Energie marémotrice [19]**



### I.5.1.2 Barrage hydraulique

Les barrages hydrauliques sont des barrières construites dans les ruisseaux ou les lacs pour transférer ou stocker l'eau.



Figure I.7 : Barrage hydraulique [20]

### I.5.1.3 Energie houlomotrice

Qui compte sur l'énergie cinétique des vagues et de la houle

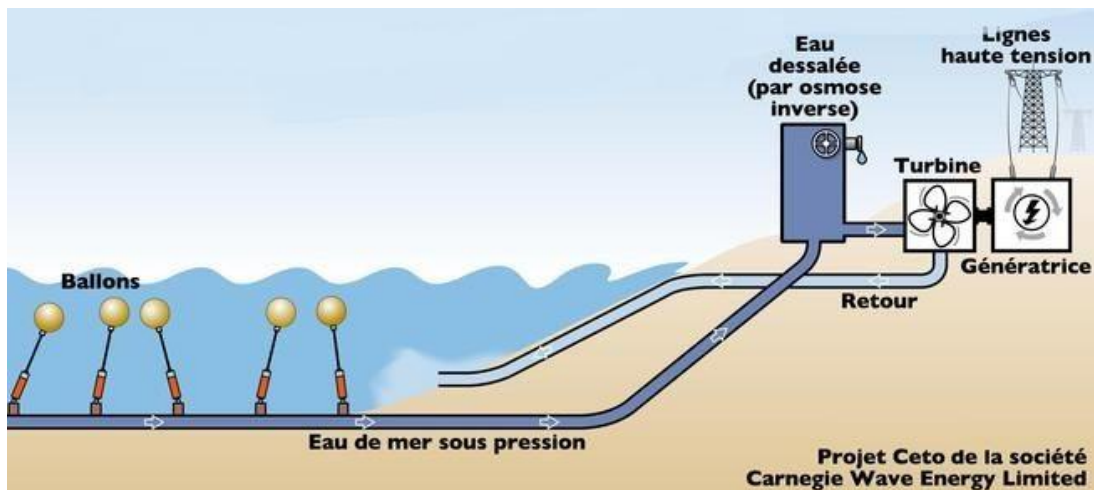


Figure I.8 : Energie houlomotrice [21]

### I.5.1.4 Energie thermique

Qui peut être tirée de la différence de température entre les eaux profondes et les eaux de surface.



**Figure I.9 :** Energie thermique [22]

#### **I.5.1.5 Energie osmotique**

Qui produit de l'électricité grâce à la différence de pression que génère la différence de salinité entre l'eau de mer et l'eau douce. [23]



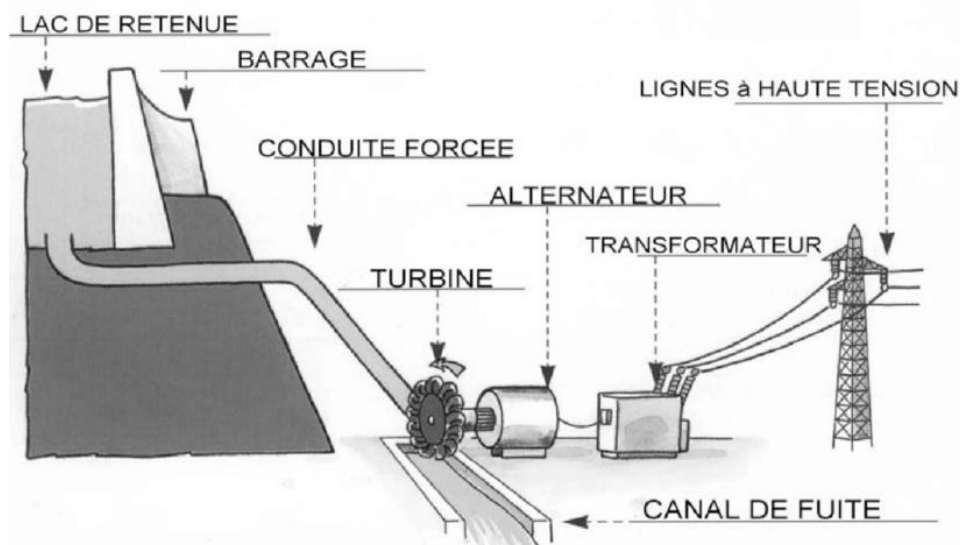
**Figure I.10 :** Energie osmotique [24]

#### **I.5.2 Principe de fonctionnement des systèmes hydrauliques**

La force des systèmes hydrauliques est basée sur une différence de pression entre deux zones. Cet écart permet alors d'actionner une section de l'équipement et créer un mouvement. En d'autres mots, c'est l'utilisation des fluides sous pression et des lois des liquides pour

permettre un travail mécanique.

Les systèmes hydrauliques utilisent des fluides non compressibles, majoritairement des liquides comme de l'huile. Ces fluides se distinguent des fluides compressibles utilisés dans les systèmes pneumatiques. Ces liquides sont propulsés dans le système grâce à la pompe et dirigés selon l'action désirée. Les systèmes hydrauliques permettent d'actionner des ensembles mécaniques et possèdent un meilleur rapport poids/puissance que les systèmes électriques. Par ailleurs, les fuites se repèrent beaucoup plus facilement dans les systèmes hydrauliques que dans les systèmes pneumatiques. [25]



**Figure I.11** : Schéma de principe d'une centrale hydraulique [26]

### **I.5.3 Avantages et les inconvénients**

#### **I.5.3.1 Avantages**

- L'énergie hydraulique est une énergie renouvelable (sa production n'entraîne pas d'émission de CO<sub>2</sub> et ne génère pas de déchets toxiques).
- L'énergie hydraulique est modulable : en cas de panne générale d'électricité, il est possible d'augmenter très rapidement sa puissance électrique.
- Il existe également un apport économique : le tourisme grâce aux lacs et aux stations balnéaires.

#### **I.5.3.2 Inconvénients**

- Coût des aménagements.
- Risques de rupture du barrage.

- Perturbation de l'écosystème.

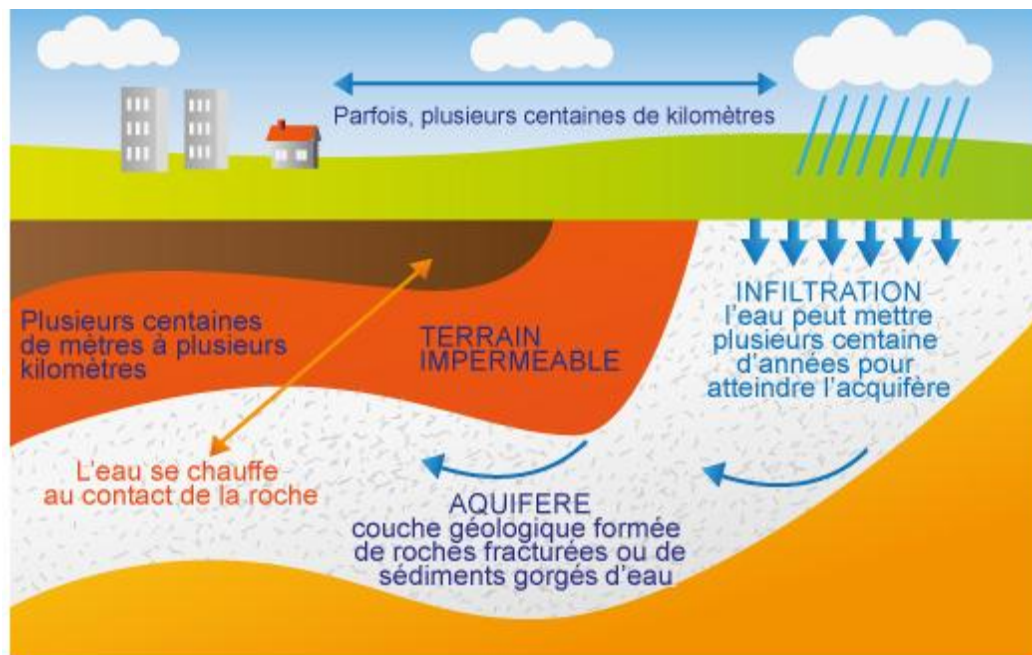
Exigences géologiques et géographiques-réservoir : zone large et dégagée. Barrage : zone étroite ; Modification de l'aspect naturel du site.

## I.6 Energie géothermique

L'énergie géothermique est une puissance développée par l'exploitation de la chaleur sous la surface de la terre. Des puits sont utilisés pour transporter la vapeur et l'eau chaude dans les profondeurs de la terre, jusqu'à la surface. L'eau chaude est alors utilisée pour faire tourner les turbines et pour produire de l'électricité, [27]. Les zones du sous-sol imprégnées d'eau sont appelées des aquifères. Leur température varie d'une dizaine de degrés selon la profondeur et la région, [28]. Les utilisations de la géothermie sont fonction du niveau de la température de l'eau géothermale :

- Une ressource de 20 ou 30°C suffit au chauffage des serres ou des bassins de pisciculture.
- Une ressource entre 45 et 75°C est nécessaire pour le chauffage des bâtiments.
- La production d'électricité est envisageable à partir de 100 à 150°C.

L'exploitation de l'énergie géothermique exige l'existence simultanée d'une ressource en sous-sol et d'un besoin en surface car la chaleur n'est pas économiquement transportable à longue distance.



**Figure I.12** : Schéma de principe de la production de l'énergie géothermique, [29].



### I.6.1 Différents types de gisements géothermiques

Les gisements peuvent être classés selon plusieurs critères : Le contexte géologique, le niveau de température, le mode d'exploitation et le type d'utilisation. Si on considère la classification en fonction de la température, on peut citer :

- **Géothermie haute énergie ( $T > 150^{\circ}\text{C}$ )**

Qui permet la production d'électricité grâce à la vapeur qui jaillit avec assez de pression pour alimenter une turbine.

- **Géothermie moyenne énergie ( $90^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$ )**

Par laquelle la production d'électricité nécessite une technologie utilisant un fluide intermédiaire.

- **Géothermie basse énergie ( $30^{\circ}\text{C} < T < 90^{\circ}\text{C}$ )**

Géothermie des nappes profondes (entre quelques centaines et plusieurs milliers de mètres) aux températures situées entre 30 et 100 °C. Principale utilisation : les réseaux de chauffage urbain.

- **Géothermie très basse énergie ( $T < 30^{\circ}\text{C}$ )**

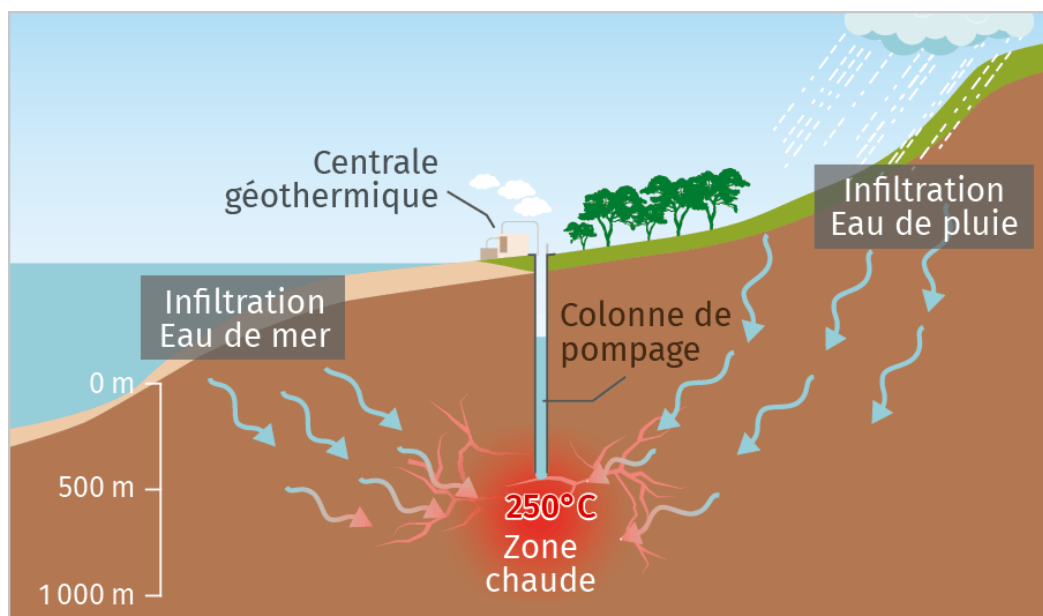
Géothermie des faibles profondeurs aux niveaux de température compris entre 10 et 30°C. Principales utilisations : le chauffage et la climatisation.

Principalement, trois scénarios de base sont utilisés pour exploiter l'énergie thermique du sol « Très basse énergie » dans les applications de chauffage et de refroidissement à savoir

- pompes à chaleur géothermiques (Ground Source Heat Pumps : GSHP) [30, 31].
- intégration directe à la terre de l'enveloppe du bâtiment [32, 33].
- système d'échangeur de chaleur air-sol (Arth Air Heat Echanger : EAHE), appelés aussi système de tunnel air-terre (Earth Air Tunnel : EAT) ou chez certains auteurs (Earth Air Tunnel Heat Echanger : EATHE) [34,35].

## I.6.2 Principe de fonctionnement géothermique

Le principe d'une centrale géothermique est d'extraire la chaleur contenue dans le sol, soit pour l'utiliser sous forme de chauffage (réseau de chaleur), soit pour la transformer en électricité, ou les deux à la fois, c'est dans ce cas de la cogénération. En haute et très haute énergie, la vapeur jaillit avec assez de pression pour faire tourner une turbine, afin de produire l'électricité. En moyenne énergie, la production d'électricité nécessite une technologie utilisant un fluide intermédiaire : on fait circuler un fluide dans les profondeurs de la terre, que l'on chauffe avec l'eau géothermale. Ce fluide se charge en énergie thermique, entre en ébullition et se vaporise, faisant tourner une turbine dont le mouvement, transmis à l'alternateur, produit de l'électricité. Une centrale géothermique est donc une centrale thermique [36].



**Figure I.13 :** Principe de centrale géothermique [37]

## I.6.3 Avantages et inconvénients de la géothermie [38]

### I.6.3.1 Avantages

Les avantages de l'utilisation des techniques de la géothermie sont énormes en termes de performance énergétique et d'impact écologique :

- Performance énergétique : les coefficients de performance peuvent atteindre des valeurs entre 10 et 20 (entre 2 à 4 pour des climatisations classiques).
- Maintenance restreinte.
- Coût de maintenance : très faible par rapport à une climatisation classique.

- Intégration possible avec d'autres systèmes de climatisation.
- Coût énergétique : très faible par rapport à une climatisation classique.
- Capacités de production importantes comparées aux autres énergies renouvelables.
- Énergie de base, indépendant des conditions climatiques (fonctionne 24hx24h, 365j/an).

### **I.6.3.2 Inconvénients**

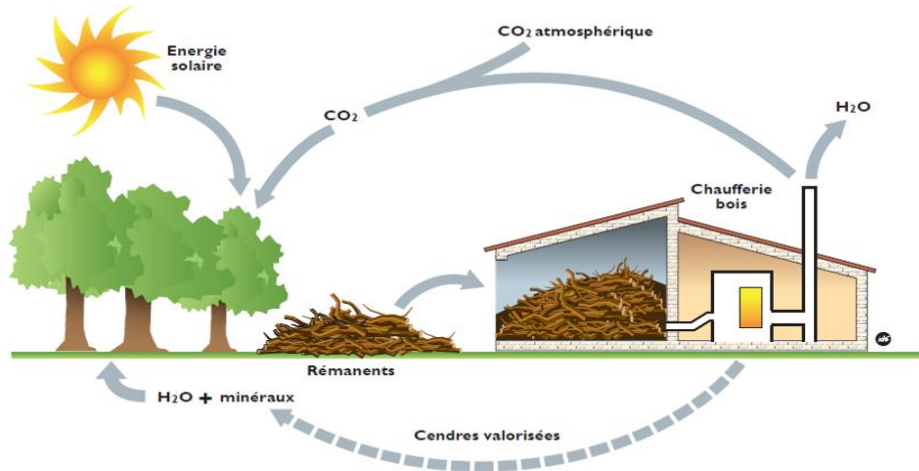
L'inconvénient de l'exploitation de l'énergie géothermique réside dans son installation :

- Ressource naturelle du sous-sol dont l'extraction nécessite la réalisation de forages.
- Coût d'investissement important comparé aux autres énergies renouvelables (travaux d'exploration, réalisation de forages).
- Délai important dans la mise en valeur d'une ressource géothermique.
- Comme le fluide utilisé est de l'air, la croissance de micro-organismes peut devenir l'un des inconvénients de l'utilisation d'un système de ventilation couplé à un échangeur EAHE. Cela provoque une diminution de la qualité de l'air.
- La condensation se produit dans les tubes. L'eau condensée doit être extraite régulièrement. [38]

## **I.7 L'énergie de la biomasse**

La biomasse est répartie en quatre catégories : la biomasse sèche (bois, déchets agricoles...), le biogaz, les déchets municipaux renouvelables solides et la biomasse humide (bioéthanol, biodiesel, huile végétal ...)

En 2005, la biomasse est la deuxième source d'électricité renouvelable mondiale avec 1% de la production d'électricité mondiale [39].



© AuxeV

**Figure I.14 : Energie de biomasse [40]**

## I.7.1 Types de la biomasse

### I.7.1.1 Biomasse sèche

Elle est composée de divers déchets de bois, également appelée « bois énergie »



**Figure I.15 : Biomasse sèche [41]**



### **I.7.1.2 Biomasse humide**

Elle est composée de déchets organiques (déchets verts, boues d'épuration, déchets ménagers...) issus de l'agriculture (bouse, boue...), agro-alimentaire, ou de sources urbaines, et peut être valorisée en énergie ou en engrais. [36]



**Figure I.16** : Biomasse humide [42]

### **I.7.2 Principe de fonctionnement de la biomasse**

Une centrale biomasse produit de l'électricité grâce à la vapeur d'eau dégagée par la combustion de matières végétales ou animales, qui met en mouvement une turbine reliée à un alternateur.

#### **I.7.2.1 La combustion**

La biomasse est brûlée dans une chambre de combustion.

#### **I.7.2.2 La production de vapeur**

En brûlant, la biomasse dégage de la chaleur qui va chauffer de l'eau dans une chaudière. L'eau se transforme en vapeur, envoyée sous pression vers des turbines.

#### **I.7.2.3 La production de l'électricité**

La vapeur fait tourner une turbine qui fait à son tour fonctionner un alternateur. Grâce à l'énergie fournie par la turbine, l'alternateur produit un courant électrique alternatif. Un transformateur élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à moyenne et haute tension.

### I.7.2.4 Le recyclage

À la sortie de la turbine, une partie de la vapeur est récupérée pour être utilisée pour le chauffage. C'est ce que l'on appelle la cogénération. Le reste de la vapeur est à nouveau transformée en eau grâce à un condenseur dans lequel circule de l'eau froide en provenance de la mer ou d'un fleuve. L'eau ainsi obtenue est récupérée et recircule dans la chaudière pour recommencer un autre cycle. [43].

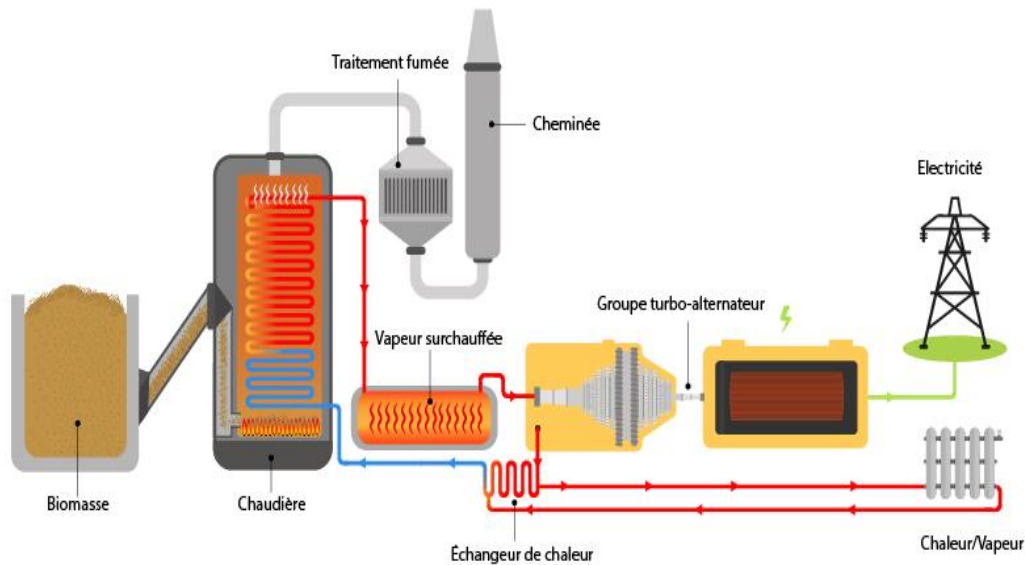


Figure I.17 : Principe de centrale biomasse [44]

## I.7.3 Avantages et Inconvénients

### I.7.3.1 Avantages

- La biomasse participe au traitement et à la destruction des déchets organiques.
- A l'heure où le prix des carburants ne cesse d'augmenter, cette énergie serait une bonne alternative au pétrole.
- Les ressources de la biomasse sont disponibles à grande échelle.
- La biomasse est une ressource renouvelable lorsqu'utilisée et gérée de façon durable (Pellecier, 2007).
- La biomasse peut être convertie en différentes formes d'énergie. Par exemple, le bois peut être traité et converti en gaz (Ademe, 2007).

### **I.7.3.2 Inconvénients**

- La production de biocarburants à un prix conséquent n'est pas encore totalement développée.
- Pour produire de la biomasse, il faut des terres agricoles, sauf qu'il y en a peu de disponible. Les cultures vivrières devront donc être rachetées ou abandonnées au profit de la production de biocarburants.

La biomasse peut être polluante si elle est mal utilisée (par exemple ; un hectare de sol absorbe normalement 4 tonnes de dioxyde de carbone par an alors qu'un hectare mal-labouré rejette 1 tonne de dioxyde de carbone par an).

### **I.8. Conclusion**

Le schéma le plus simple d'un système énergétique est celui que l'homme exploite depuis longtemps, en utilisant le bois pour cuire des aliments ou se chauffer, et la force animale ou la force du vent pour moulinier le grain ou se déplacer. D'une énergie primaire le bois, le vent, l'homme tire une énergie utile qui correspond à un service, le chauffage ou le mouvement. Ensuite cette énergie est devenue un moteur essentiel de l'économie. Elle se transforme en de multiples formes : chimique dans les combustibles fossiles ou la biomasse, cinétique dans les chutes d'eau ou le vent, électromagnétique dans le soleil, le nucléaire dans l'uranium. Mais ce système est devenu très complexe avec le développement de l'industrie et l'apparition de nouvelles technologies. L'énergie provenant des combustibles fossiles produit un impact environnemental, et le respect de l'environnement est aujourd'hui une préoccupation majeure pour l'ensemble de la société. Les énergies renouvelables sont les solutions pour ces problèmes écologiques, en utilisant les ressources naturelles inépuisables et non polluantes.

## Chapitre II :

Etude détaillée sur le  
rayonnement solaire

## II.1 Introduction

L'énergie émise par le soleil voyage jusqu'à la terre sous forme de rayonnement électromagnétique. Ce rayonnement est semblable aux ondes radioélectriques mais il possède une gamme de fréquence différente. La quantité d'énergie disponible au cours du trajet entre le soleil et l'atmosphère extérieur de la terre est égale à environ  $1367 \text{ W/m}^2$ . Il en résulte qu'au cours d'une journée ensoleillée, la quantité d'énergie solaire disponible à la surface de la terre dans la direction du soleil est généralement plus ou moins de  $1000 \text{ W/m}^2$ . Quel que soit le moment, l'énergie solaire disponible est principalement fonction de la position du soleil dans le ciel et de la nébulosité. Sur une base mensuelle ou annuelle, la quantité d'énergie solaire disponible dépend également de l'emplacement géographique. De plus, l'énergie solaire utilisable dépend de l'énergie solaire disponible.

Le rayonnement solaire global qui atteint la surface du capteur comprend un rayonnement direct, provenant en lignes droites venant directement du soleil, et un rayonnement diffus, qui provient de manière non isotrope, de toutes les directions de l'espace. Une partie du rayonnement diffusé est renvoyée vers l'espace ; le reste est transmis jusqu'au sol,

## II.2 Origine de l'énergie solaire

Le soleil tire son énergie des réactions thermonucléaires se produisant en permanence dans son noyau, dont la température atteint 15 millions de degrés. Compte tenu des températures et des pressions énormes qui y règnent, toute la matière se trouve à l'état gazeux ou sous forme de plasma. La couche externe du soleil, La photosphère, celle qui est visible de la terre, a une température considérablement plus faible qui décroît vers l'extérieur, jusqu'à environ  $5\,800^\circ\text{K}$ .

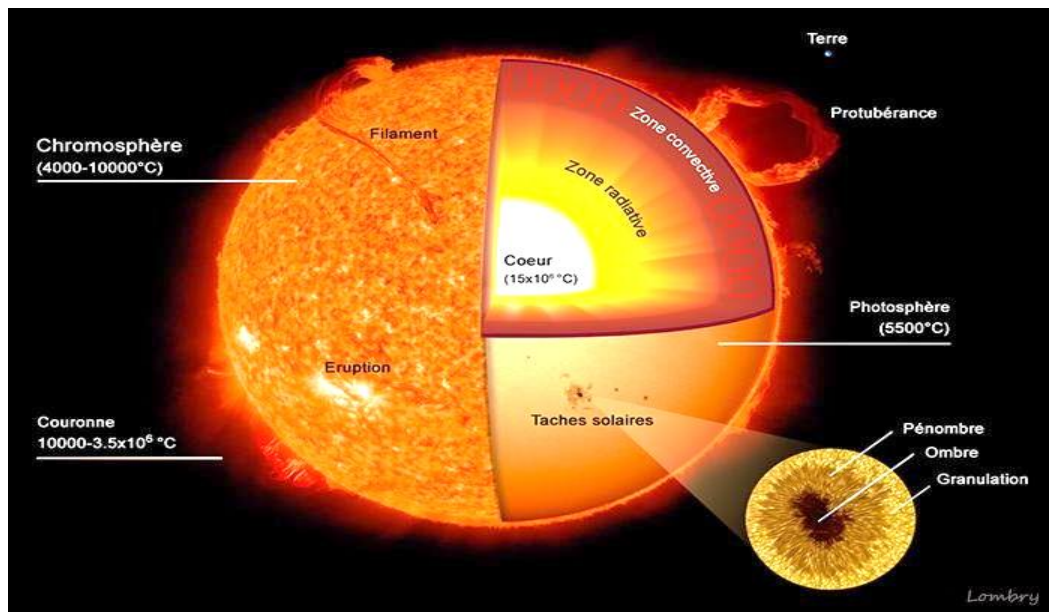
Les réactions thermonucléaires qui se produisent dans le noyau du soleil transforment chaque seconde, 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions de tonnes d'hélium selon l'équation suivante.



L'hydrogène qui représente 71 % de la masse dans la photosphère n'est plus présent qu'à 34 % dans la partie centrale du soleil, du fait de cette transformation permanente engagée Il y a 4,5 milliards d'années. Et les 4 millions de tonnes manquantes volatilisées désintégrées dans de gigantesques explosions nucléaires, Le processus mis en jeu est bien compris depuis la célèbre relation d'Albert Einstein ( $E = mc^2$ ) qui montre que toute disparition de masse ( $m$ ) entraîne une

production d'énergie égale au produit de cette masse par le carré de la vitesse de la lumière. La perte de masse du soleil par unité de temps vaut  $4,28.10^9$  kg /s ; et l'énergie émise par seconde par le soleil est donc d'environ 3,85.1020MW. Sur le plan énergétique un réacteur de centrale nucléaire produit typiquement 1000MW. Le Soleil fournit donc une puissance équivalente à celle de  $4.10^{17}$  réacteurs nucléaires, un chiffre véritablement astronomique. Cependant, seule une petite partie de cette puissance est reçue par la terre du fait du faible angle solide sous lequel est vue notre planète à partir du soleil, environ deux milliards de fois moins, ce qui donne un chiffre qui reste fort respectable (environ  $1,9.10^{11}$  MW). Le système terre atmosphère réfléchit environ

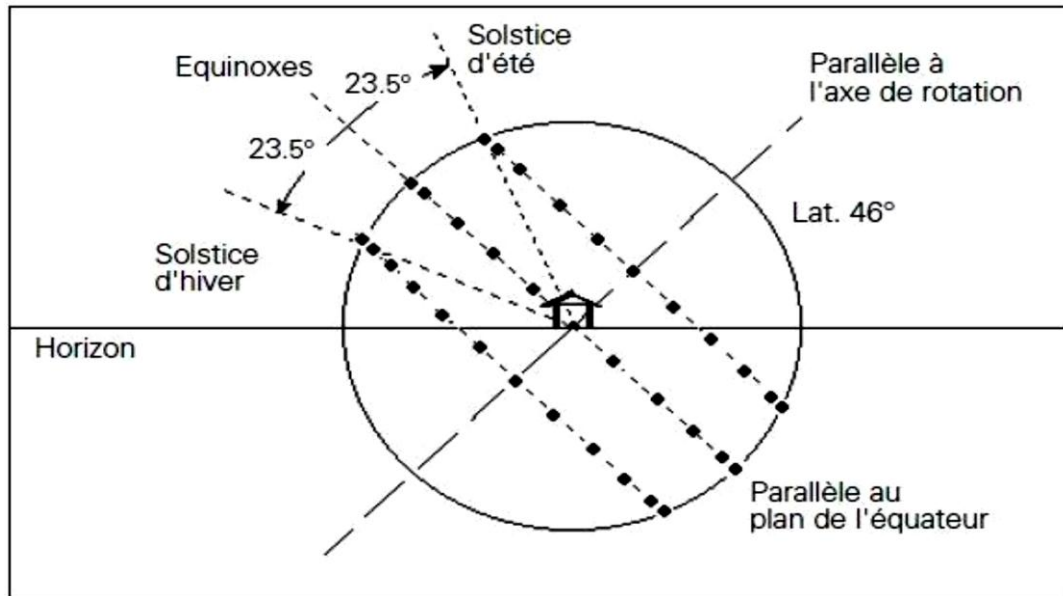
30 % de l'énergie solaire interceptée et absorbe les 70 % restants qui sont presque intégralement transformés en chaleur [45, 46, 47].



**Figure (II.1) : Origine de l'énergie solaire [48]**

### II.3 Trajectoire du soleil

Toute application solaire nécessite la connaissance du mouvement apparent du soleil pour un point donné de la surface terrestre (figureII.2), caractérisé par sa latitude (positive pour l'hémisphère Nord) et sa longitude (définie par rapport au méridien de Greenwich, positivement vers l'Est) [49,50].



**Figure II.2 :** Trajectoires apparentes du soleil

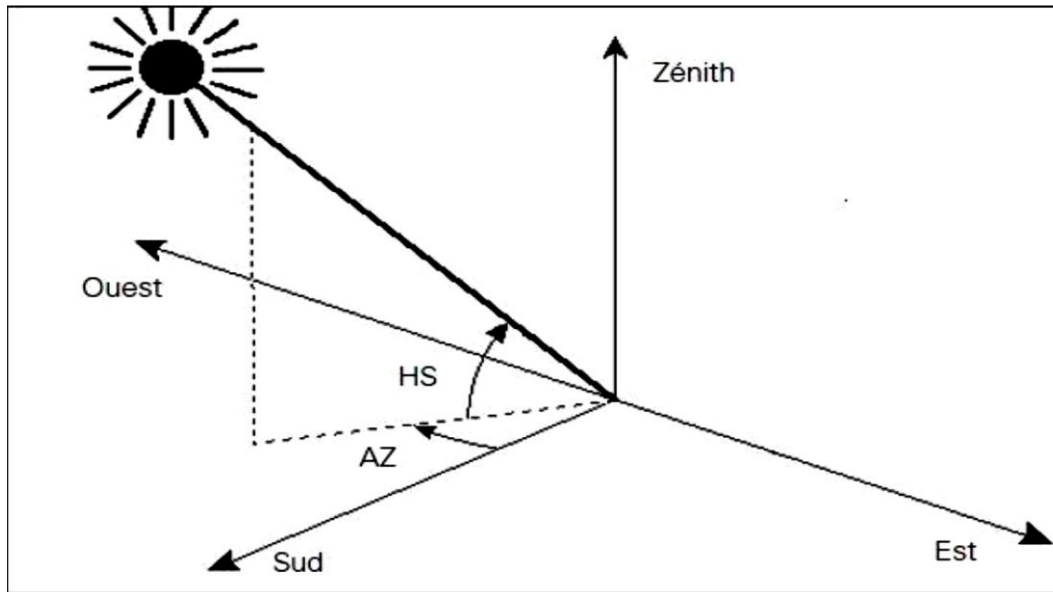
Le soleil décrit un cercle centré sur l'axe de rotation de la terre, déplacé à un angle  $\delta$  par rapport au plan parallèle à l'équateur.

Pour l'observateur terrestre, en considérant la déclinaison comme constante sur une journée, le soleil décrit un cercle autour de l'axe de rotation de la terre (Figure II.2). Ce cercle est parallèle au plan de l'équateur, et sa hauteur apparente sur ce plan donné par la déclinaison.

Au cours de la journée, l'instant où le soleil passe par le méridien du lieu de l'observateur c'est-à-dire où il est au sud dans notre hémisphère est le midi « vrai ». Pour un instant quelconque, l'angle horaire AH est l'angle, projeté sur le plan de l'équateur, entre le soleil et le midi vrai, il vaut  $15^\circ$  par heure ( $360^\circ/24h$ ) [49,50].

A position du soleil est définie par deux angles : sa hauteur HS l'angle entre le soleil et le plan horizontal du lieu, et son azimut AZ, l'angle avec la direction du sud, compté négativement vers l'est (sens anti trigonométrique dans l'hémisphère Nord) (figure II.3).





**Figure II.3 :** Définition de la position du soleil

Le calcul de la position du soleil est fonction de la déclinaison (soit le jour de l'année), la latitude et l'angle horaire ; il est effectué à l'aide des expressions suivantes [49,50]

$$\sin HS = \sin LAT. \sin \delta + \cos LAT. \cos \delta. \cos AH \quad (\text{II.2})$$

Avec ( $\sin AZ = \cos \delta$ ).

$$\sin AH / \cos HS \quad (\text{II.3})$$

On pourra tirer de nombreuses valeurs remarquables de ces deux expressions, par exemple, l'heure du lever du soleil est donnée par la condition  $HS=0$ , soit :

$$\cos AH = - \tan LAT. \tan \delta \quad (\text{II.4})$$

Ou encore : la hauteur maximal du soleil

(À midi solaire) :

$$HS_{max} = 90 - LAT + \delta \quad (\text{II.5})$$

## II.4 Nature du rayonnement solaire

L'énergie émise par le soleil nous parvient sous forme de rayonnements électromagnétiques se propageant à la vitesse de la lumière et dont l'ensemble forme le rayonnement solaire, qui constitue la seule source externe notable d'énergie pour l'atmosphère. La théorie corpusculaire de Max Planck prévoit que tout rayonnement de fréquence ( $\nu$ ) peut



être considéré comme un flux de photons dont l'énergie élémentaire (E) est directement proportionnelle à cette fréquence.

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (\text{II.6})$$

Où

h : est la constante de Planck.

c : la vitesse de la lumière.

$\lambda$  : La longueur d'onde.

De ce fait, ce sont les rayonnements de courte longueur d'onde (ou de haute fréquence) qui sont les plus énergétiques ; la plus grande partie de l'énergie solaire est cependant rayonnée dans les domaines ultraviolet, visible et proche infrarouge. 99,2 % de l'énergie solaire hors atmosphère se trouve entre 200 nm et 4  $\mu\text{m}$ . Au sol, par suite de l'absorption du rayonnement solaire par la vapeur d'eau, le spectre est limité à 2,5  $\mu\text{m}$  environ [51, 52].

#### II.4.1 Répartition spectrale du rayonnement solaire

Les photons ne sont pas émis en même quantité par le soleil quelle que soit la longueur d'onde. Si l'on mesure l'énergie associée à chaque gamme de longueurs d'onde dans le rayonnement solaire, on observe que celle-ci est très faible pour des longueurs d'onde inférieures à 0,2  $\mu\text{m}$  et pour des longueurs d'onde supérieures à 4  $\mu\text{m}$ , mais aussi qu'elle passe par un maximum autour de 0,5  $\mu\text{m}$  correspondant au jaune (qui est bien la couleur dominante de l'astre solaire) (figure II.4).

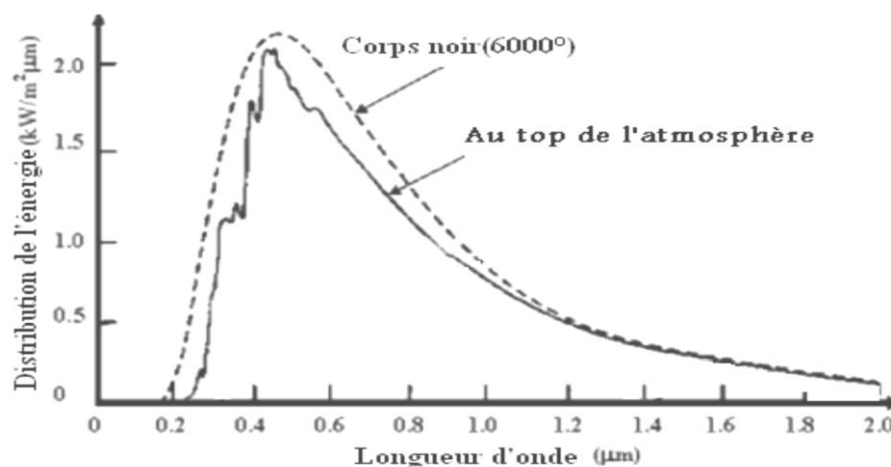
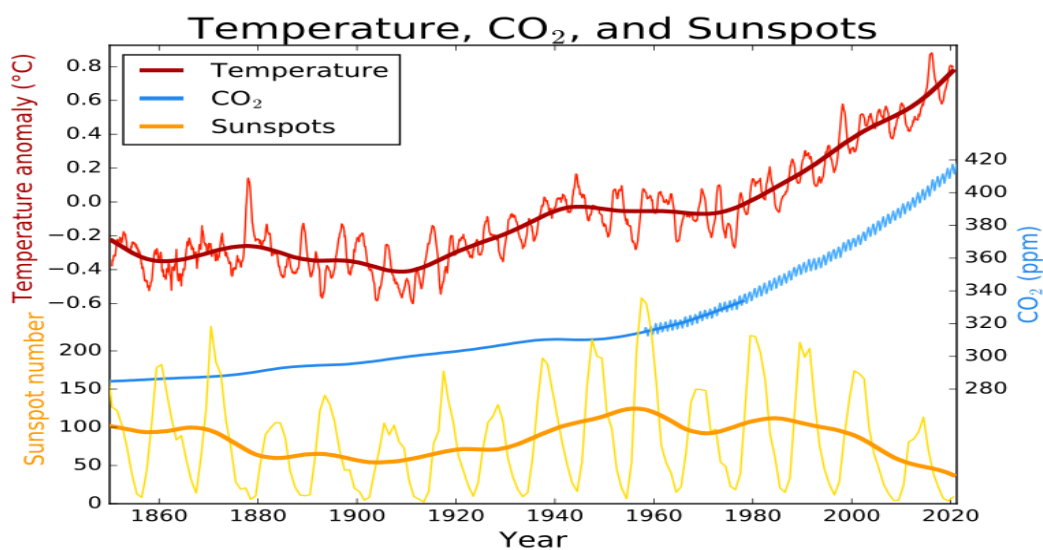


Figure II.4 : Le spectre solaire [52]

Il est intéressant de remarquer que, sur le plan d'émission du rayonnement, le soleil se comporte de façon similaire à un corps noir à une température de presque de 6000°k. La terre et son atmosphère jouent un rôle de transformateurs de l'énergie solaire, qu'elles reçoivent principalement sous forme de rayonnement de courtes longueurs d'ondes et qu'elles réémettent vers l'espace essentiellement sous forme de rayonnement infrarouge [51, 52].

#### II.4.2 La constante solaire

La terre reçoit pratiquement toute son énergie du soleil, sous la forme d'un rayonnement électromagnétique. Son contenu total de chaleur ne change significativement pas avec le temps, indiquant en général un équilibre entre le rayonnement solaire absorbé et le flux de rayonnement diffus émis par la planète. À l'extérieur de l'atmosphère terrestre il n'y a pas de composante diffuse du rayonnement solaire mais seulement la composante directe. Pour une distance moyenne entre la terre et le soleil. L'irradiation émise par le soleil à la terre aboutit à une intensité presque fixe dite constante solaire qui est de 1360w/m<sup>2</sup> (Monteith 1962) [52]. La constante solaire est l'énergie solaire reçue par unité de temps et par unité de surface d'une superficie perpendiculaire à la direction de propagation du rayonnement solaire. Les mesures faites avec une variété d'instruments ont donné la valeur 1353w/m<sup>2</sup> estimée avec une erreur de ±1.5%. La commission des instruments et des méthodes d'observation (CIMO) de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) a adopté en octobre 1981 la valeur 1367w/m<sup>2</sup> avec une incertitude de 1%. À présent la meilleure valeur disponible de la constante solaire est 1360w/m<sup>2</sup> (Frochlich et 1981 Werhli) [52].



**Figure II.5 :** La constante solaire [53]

## II.5 Source du rayonnement solaire

La principale source d'énergie dont nous disposons est le soleil, qui est situé à environ 150 millions de Kilomètres de la terre, il émet de manière isotrope un rayonnement qui peut être assimilé, en première approximation, à celui d'un corps noir à 5800° K. Ce rayonnement se propage dans l'espace sous forme d'onde électromagnétique, il atteint la terre après environ huit minutes de son émission. Les 98% de l'énergie émise se situent dans la bande de longueur d'onde comprise entre 0.25 et 3um [54].

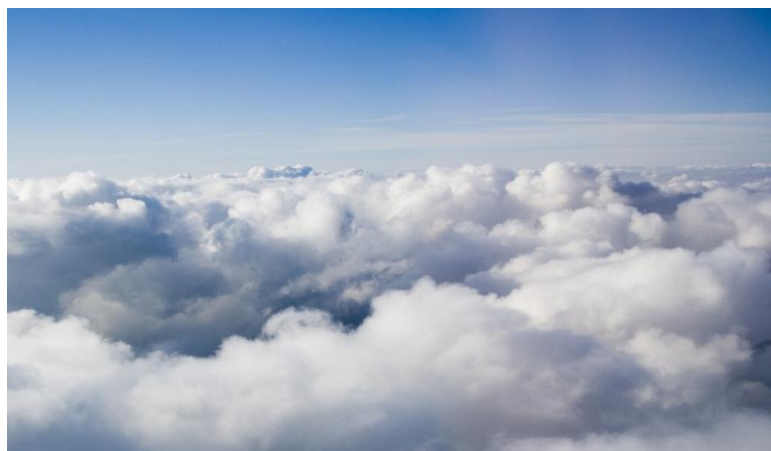
La Terre reçoit une partie de ce rayonnement. Le flux énergétique reçu par la Terre est appelé éclairage énergétique, abrégé en éclairage. La moyenne annuelle de cet éclairage reçu sur un plan normal aux rayons du soleil situé au sommet de l'atmosphère est appelée constante solaire [54].

## II.6. Influence de l'atmosphère terrestre sur le rayonnement solaire

### II.6.1 Composition de l'atmosphère

L'atmosphère est constituée de trois grandes couches de caractéristiques différentes, qui sont :

**A- La troposphère :** Comprise entre le sol et de 16 km d'altitude ; dans cet intervalle la température et la pression décroît, respectivement, de 5.6°C Km-1 et de 400 à 100 mb jusqu'à la limite supérieure. La masse de la troposphère représente les  $\frac{3}{4}$  de la masse totale de l'atmosphère qui est de  $5.10^{15}$  Tonne. L'air de la troposphère renferme de la vapeur d'eau, du gaz carbonique, des poussières et des cristaux de sel. C'est le siège des nuages, des pluies et des orages.



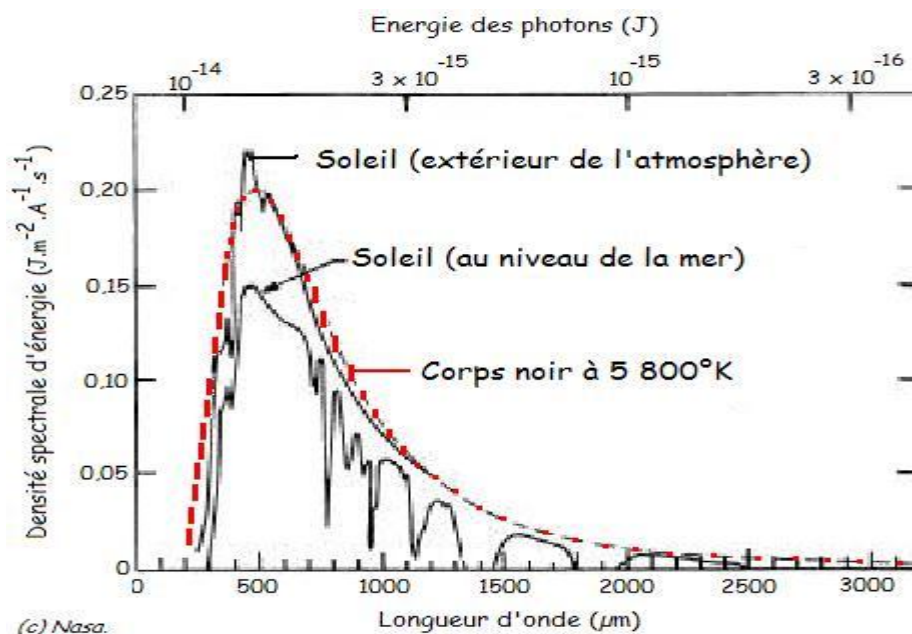
**Figure II.6 :** La troposphère [55]

**B- La stratosphère** : Comprend des couches à différentes températures dont l'une, particulièrement riche en ozone, présente une température voisine de 0°C. Ce réchauffement est vraisemblablement dû à l'absorption partielle du rayonnement UV émis par le Soleil.



**Figure II.7** : La stratosphère [56]

**C- La mésosphère**, comprise entre 55 et 80 km d'altitude. La pression n'est plus que de 10-2 mb à sa limite supérieure, appelée mésopause. La figure (II.8) montre l'influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire reçu au niveau de la mer, par ciel clair et pur, la hauteur du soleil étant 30° [57].



**Figure II.8** : Influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire [58]

## II.6.2 Absorption de rayonnement solaire

L'absorption du rayonnement solaire est sélective et dépend principalement de quatre éléments qui sont :

**1 - Ozone (O<sub>3</sub>)** : Il absorbe des bandes fortes entre 0.2 et 0.3 μm, des bandes faibles de 0.45 à 0.7 μm et deux bandes IR à 10 et 14 μm. Il forme aussi un écran qui arrête les UV.

**2-Oxygène (O<sub>2</sub>)** : Il absorbe des bandes étroites du spectre visible (vers 0.69 et 0.76μm).

**3-Gaz carbonique (CO<sub>2</sub>)** : Il absorbe des une partie de l'infrarouge lointain ( $\lambda > 2\mu\text{m}$ ).

**4- Vapeur d'eau** qui entraîne des bandes d'absorption multiples surtout dans l'IR. On ne la rencontre pratiquement qu'au niveau du sol ( $z < 5 \text{ km}$ ) [13]. La figure II.9 représente le spectre de la principale absorption sélective par les gaz atmosphériques

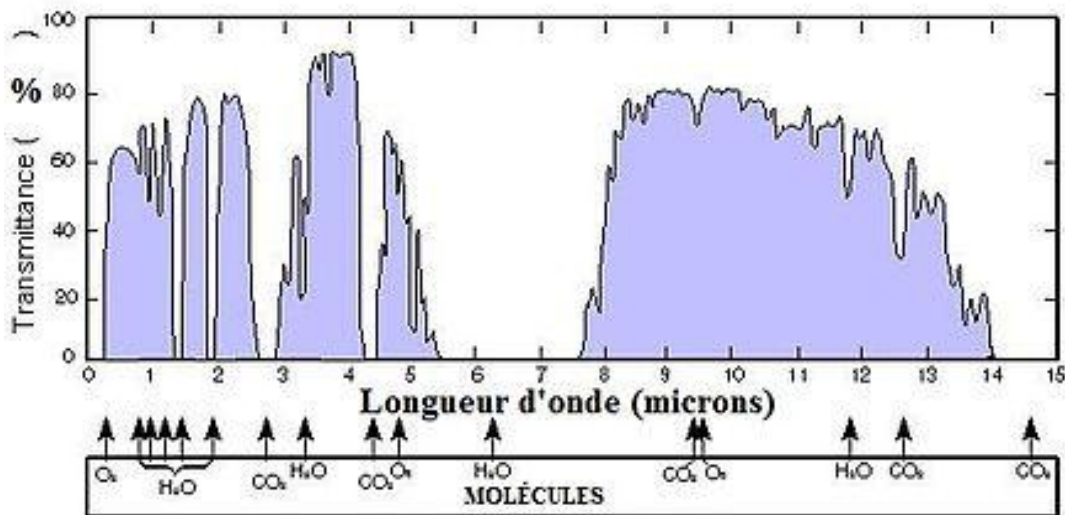


Figure II.9 : Spectre d'absorption du rayonnement atmosphère. [59]

## II.6.3 Phénomène de diffusion du rayonnement solaire

On distingue dans l'atmosphère deux types de diffusion : la diffusion de Rayleigh par les particules de diamètre inférieur à la longueur d'onde incidente [57] et la diffusion de Mie par les corpuscules de grand diamètre (aérosols). Un rayon diffusé peut lui même subir une diffusion et ainsi de suite selon la densité et le volume de la matière traversée ; c'est la diffusion multiple dont il faut aussi tenir compte. Les directions d'une diffusion moléculaire vers l'avant et vers l'arrière sont privilégiées par rapport à la direction latérale. Par contre, dans le cas d'une diffusion de grosses particules, la plupart des photons seront diffusés vers l'avant dans un angle de 4 degrés autour de la direction incidente [57]. L'absorption de Rayleigh explique

pourquoi le ciel est bleu dans la journée et rouge - orange le matin et le soir lorsque le soleil est bas sur l'horizon. En effet, considérons le soleil à midi ; le trajet des rayons lumineux est relativement court. Compte tenu de la loi de Rayleigh, le rayonnement de courte longueur d'onde est plus diffusé par les molécules de l'atmosphère que le rayonnement de grande longueur d'onde ; il s'ensuit que la lumière bleue ( $\lambda=0.47 \mu\text{m}$ ) est plus diffusée que la lumière rouge ( $\lambda=0.67 \mu\text{m}$ ) et le ciel nous paraît bleu. A l'aurore ou au crépuscule, la même loi s'applique ; mais comme le trajet de la lumière est beaucoup plus long, les longueurs d'onde bleues sont diffusées mais aussi absorbées et il ne reste, fortement atténuées, que les grandes longueurs d'onde. La rétine de l'observateur qui fixe le soleil enregistre alors un disque rouge. Enfin, on caractérise l'ensemble des phénomènes d'absorption et de diffusion par un facteur appelé facteur de trouble total [57].

Le facteur de trouble de Linke  $T_1$  conduit à une évaluation de l'extinction atmosphérique par des molécules gazeuses et les aérosols ; une valeur moyenne est donnée par :

$$T_1 = 2.5 + 16\beta_A + 0.5 \ln \omega \quad (\text{II.7})$$

Le coefficient  $\beta_A$  est appelé coefficient de trouble ou coefficient d'Angström. Ce coefficient caractérise, la clarté du ciel et on a ainsi :

$\beta_A = 0.02$  pour un ciel bleu foncé.

#### **II.6.4 Distribution du rayonnement solaire par l'atmosphère**

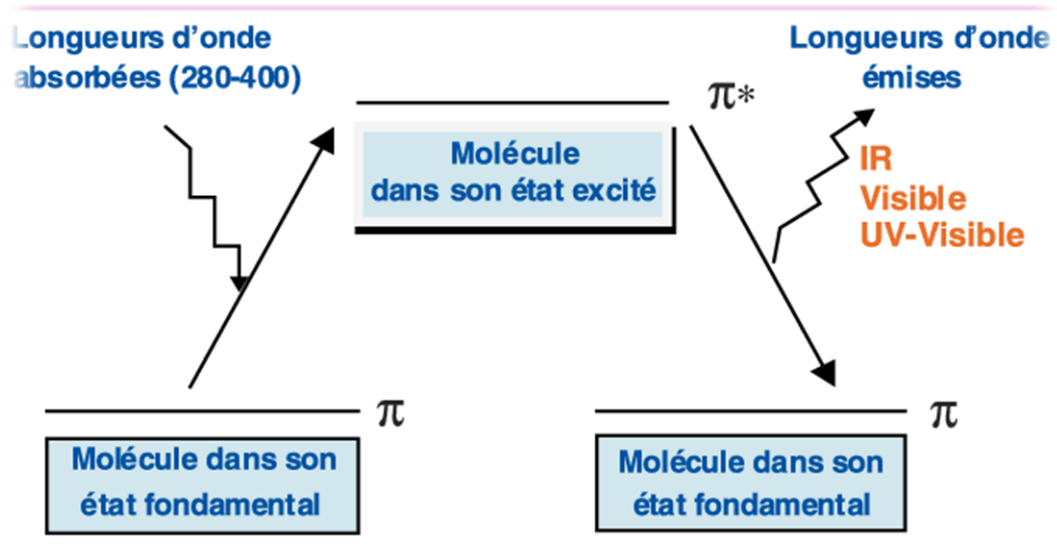
Les radiations solaires arrivant au sommet de l'atmosphère sous forme d'ondes électromagnétiques se répartissent premièrement en deux parties : L'une (E) est directement réfléchi vers l'espace avant de s'enfoncer dans l'atmosphère. L'autre partie (R), en pénétrant dans l'atmosphère subit des réflexions et des diffractions pour être à son tour, soit renvoyée vers l'espace (Ra) soit dirigée vers la terre (D).

Dans l'atmosphère la vapeur d'eau et de multiples gaz absorbent de façon très irrégulière certaines radiations caractérisées par leurs longueurs d'ondes, les radiations (RA) absorbées par les composantes de l'atmosphère sont ensuite émises dans toutes les directions. Il en résulte que parmi les radiations solaires parvenant finalement au sol. Une fois ces radiations arrivées au sol, une fraction est réfléchi directement vers le ciel (A), l'autre est gagnée par la terre, pour être à son tour émise par le sol sous forme de chaleur latente et chaleur sensible :

$$R_n = F_1 + R_s \quad (\text{II.8})$$

Où :  $F_1$  est la chaleur latente.  $R_s$  est la chaleur sensible.

La figure (II.10) ci-dessous présente la distribution du rayonnement solaire par  $R_f$  est le rayonnement diffusé vers le sol  $R_f$  est le rayonnement diffusé vers le sol.



**Figure II.10 :** Distribution de rayonnement solaire par l'atmosphère [60]

## II.7 Le rayonnement solaire au sol

Afin de quantifier l'énergie développée par le générateur photovoltaïque dans une application donnée, il est nécessaire de connaître le spectre du rayonnement solaire reçu sur sol. En effet, quatre types de rayonnement ont été répertoriés dans la littérature [61.62]

### II.7.1 Le rayonnement direct

La conversion du rayonnement direct ED est une question trigonométrique. Le rayonnement direct, sur le plan horizontal, est la différence entre le rayonnement global et le rayonnement diffus.

### II.7.2 Le rayonnement diffus

Il est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire global par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages et les aérosols.

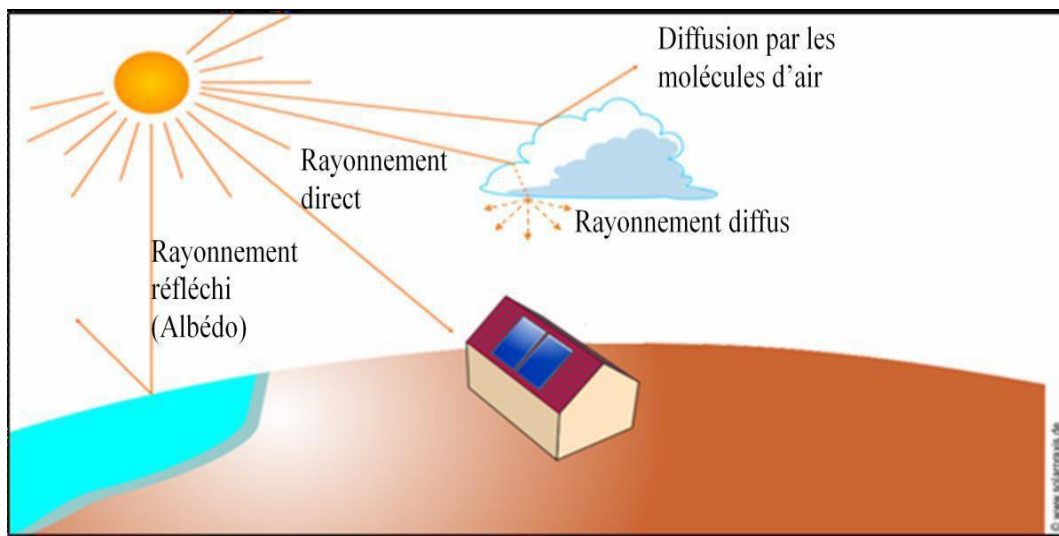


### II.7.3 Le rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol

C'est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige, etc....).

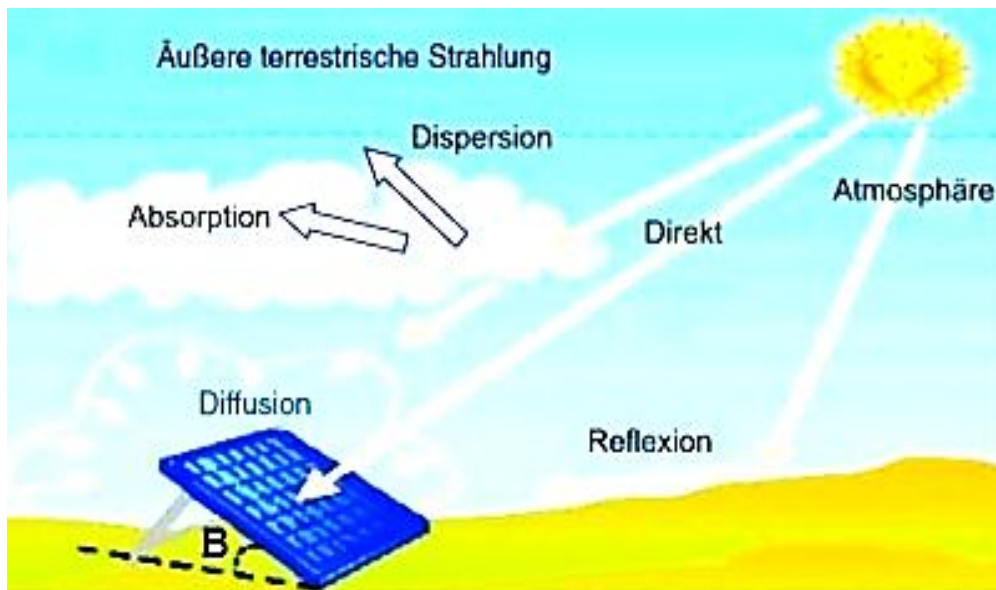
### II.7.4 Le rayonnement global

Le rayonnement global est subdivisé en rayonnements directs, diffus et reflété par le sol. Dans la figure ci-dessous figure (II.11) est schématisé l'ensemble des rayonnements solaires sur une surface terrestre.



**Figure II.11 :** Types de rayonnement solaire reçus au sol [63]

L'intensité du rayonnement solaire reçu sur un plan quelconque à un moment donné est appelée irradiation ou éclaircissement (noté généralement par la lettre  $G$ ), il s'exprime en watts par mètre carré ( $W/m^2$ ). La valeur du rayonnement reçu par la surface du module photovoltaïque varie selon la position de ce dernier. Le rayonnement solaire atteint son intensité maximale lorsque le plan du module photovoltaïque est perpendiculaire aux rayons [61.62] : Dans la figure (II.12) ci-après est illustré l'effet de l'inclinaison des modules photovoltaïques sur l'intensité de l'éclaircissement reçu sur leurs surfaces du lever au coucher du soleil.



**Figure II.12 :** Rayonnement solaire capté par un plan horizontal et incliné [64]

## II.8 Caractéristiques du rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est à l'origine de plus de 90% de l'énergie consommée. L'homme, pour ses besoins, puise dans le cycle énergétique naturel (hydro-électricité, biomasse) ou brûle actuellement et très rapidement la biomasse fossilisée produite à des époques lointaines (charbon, gaz, pétrole). Les problèmes engendrés par l'utilisation des énergies fossiles sont bien connus : pollution de l'air, effet de serre, production d'aérosols, épuisement sur quelques générations.

Face à cela, un effort accru existe depuis une vingtaine d'années pour développer l'utilisation directe de l'énergie solaire afin de la transformer en chaleur, en électricité ou en une forme d'énergie chimique plus facilement stockable. [65]

## II.9 Le rayonnement solaire à la surface de la terre [66]

### I.9.1 La quantité du rayonnement solaire reçue par la terre

Dans la haute atmosphère, les-ultraviolets sont presque totalement arrêtés par l'ozone le rayonnement solaire est modifié lors de la traversée de l'atmosphère selon deux processus

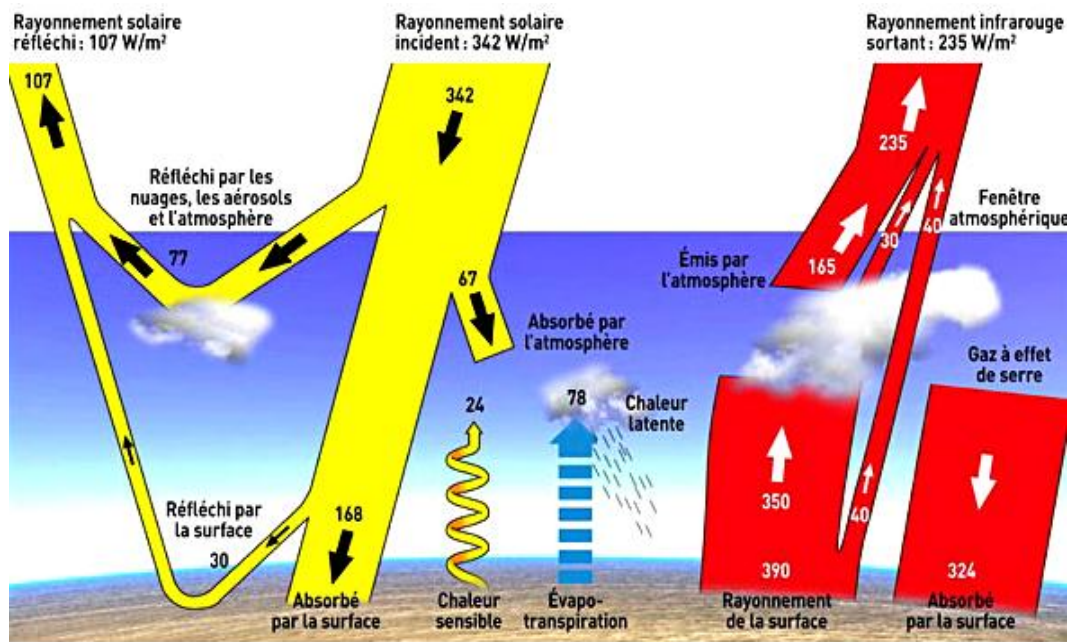


Figure II.13 : Le rayonnement solaire à la surface de la terre [67]

- l'absorption
- la diffusion-réflexion.

Selon leur nature, les particules de l'atmosphère peuvent absorber la lumière (particules inorganiques) ou la diffuser (particules organiques). Les particules ayant absorbé de l'énergie lumineuse sont échauffées et réémettent un rayonnement infrarouge qui contribue à réchauffer l'atmosphère, le sol et l'eau. La surface du sol ainsi que les nuages jouent aussi le rôle de réflecteurs.

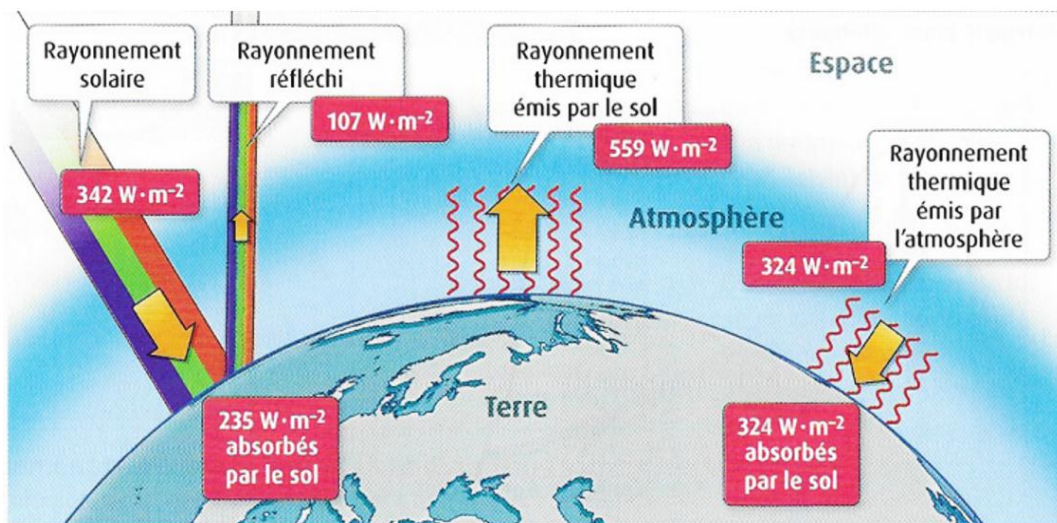
## II.10 L'énergie émise par la Terre

L'énergie reçue du soleil est réémise par la surface du sol dans le domaine de l'infrarouge. En première approximation, on considère que la surface du sol se comporte comme un corps noir.

Dans ce modèle physique, l'émission d'énergie thermique est directement liée à la température du corps noir. Celle du sol étant de  $15^{\circ}C$  en moyenne. La terre émet en moyenne  $350 W/m^2$  (dans l'infrarouge). Or, le bilan énergétique global du globe montre qu'en dehors de l'atmosphère, l'émission d'énergie thermique en direction de l'espace est seulement de  $240 W/m^2$ , ce qui correspond à l'émission d'un corps noir à  $-18^{\circ}C$ . La différence entre ces deux valeurs est la conséquence de l'effet de serre. L'atmosphère est presque totalement opaque au

rayonnement infrarouge émis par la planète, la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone étant les principaux acteurs de cette absorption.

Ce rayonnement est partiellement renvoyé vers la terre et continues à la réchauffer. Le réchauffement reste cependant limité en raison des phénomènes compensateurs qui se produisent dans la basse atmosphère et sont consommateurs d'énergie : il s'agit d'une part des mouvements de convection entre l'air chaud et l'air froid, d'autre part de la chaleur latente d'évaporation et de condensation de l'eau. [66]



**Figure II.14** : Le bilan radioactif complet de la planète

### II.10.1 La chaleur latente

La chaleur latente est la chaleur (énergie) nécessaire pour changer l'état physique d'une matière. Dans l'atmosphère, on affaire à la chaleur latente d'évaporation, qui est l'énergie consommée pour vaporiser l'eau, elle est restituée lors de la condensation de la vapeur d'eau dans les nuages. Figure (II.15)

### II.10.2 La chaleur sensible

La chaleur sensible est la chaleur (énergie) nécessaire pour modifier la température d'un corps. Dans l'atmosphère, c'est l'énergie consommée par les mouvements atmosphérique de convection entre les masses d'air chaudes (ascendantes) et les masses d'air froides (descendante). Figure (II.15)

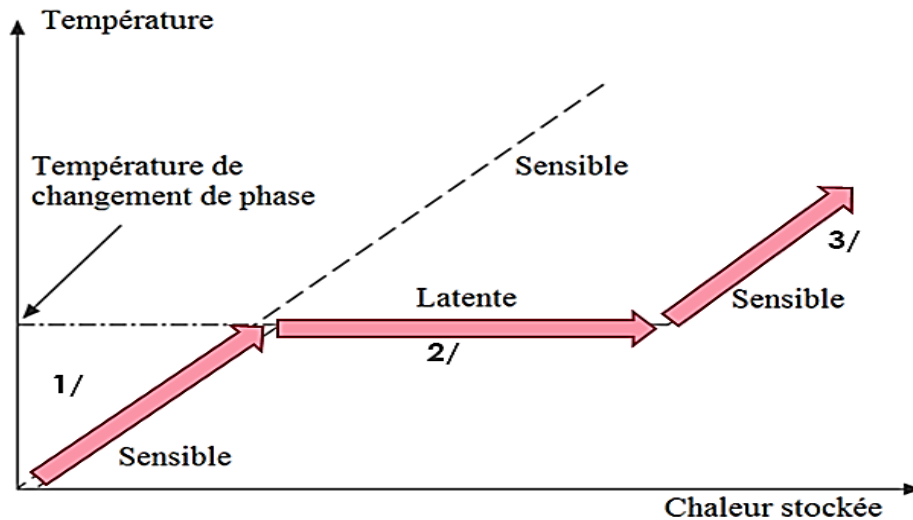


Figure II.15 : La chaleur latente [68]

### II.11 Estimation du rayonnement sur un plan quelconque

Sur une surface plane inclinée d'un angle  $I$  par rapport à l'horizontale et orientée vers une direction faisant un angle  $\chi$  avec la direction Sud ( $\chi$  compté positivement vers l'Ouest). Le rayonnement global  $I'_g$  reçu par cette surface est la somme de trois termes [69].

$$I'_g = I'_b + I'_d + I'_r \quad (\text{II.9})$$

Chacun des trois termes se calcule de la façon suivante,

#### II.11.1 Rayonnement direct

$$I'_b = (I_b / \sin(\gamma)) [\cos(\gamma) \sin(i) \cos(\psi - \chi) + \cos(I) \sin(\gamma)] \quad (\text{II.10})$$

#### II.11.2 Rayonnement diffus

$$I'_d = (I_d / 2) [1 + \cos(I)] \quad (\text{II.11})$$

#### II.11.3 Rayonnement réfléchi

$$I'_r = (I_g / 2) \rho [1 - \cos(I)] \quad (\text{II.12})$$

Où  $\rho$  est le facteur de réflexion du sol vis-à-vis du rayonnement solaire,  $\rho$  est aussi appelé albédo.

## **II.12 Récepteur solaires**

Un récepteur solaire est défini comme tout système recevant l'énergie solaire est la transformant en une énergie utile [70].

### **II.12.1 Types de récepteur solaires**

Il existe des différentes méthodes pour capter l'énergie solaire provenant d'un rayonnement incident. Principalement il y a deux types de récepteurs solaires

#### **II.12.1.1 Solaires photovoltaïques**

Qui transforment l'énergie lumineuse en énergie électrique. L'effet photovoltaïque constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique.

#### **II.12.1.2 Solaires thermiques**

Qui transforment l'énergie lumineuse en énergie thermique. Un capteur solaire thermique est un dispositif destiné à absorber le rayonnement solaire et à transmettre la chaleur ainsi produite à un fluide caloporteur.

### **II.12.2 Position du capteur**

Soit un plan quelconque sur la terre à un instant quelconque, repérons sa position par les deux angles  $\alpha$  et  $\beta$  tels que :

B : Angle entre le plan horizontal et le plan considéré (inclinaison) :

- $\beta > 0$  si le plan en face de l'équateur.
- $\beta = 0$  pour le plan horizontal.
- $\beta = 90^\circ$  pour un plan vertical.

A : Angle entre le méridien local et la normale au plan

- $\alpha = 0$  vers le sud
- $\alpha < 0$  vers l'est
- $\alpha > 0$  vers l'ouest

### a) Angle d'incidence ( $\theta_i$ )

L'angle entre le rayon incident et la normale au plan considéré. Pour une surface orientée vers le sud et inclinée d'un angle ( $\beta$ ) sur l'horizontale. Cet angle peut être déterminé par la connaissance des cosinus directeurs du rayonnement incident et la normale du plan incliné en coordonnées horizontale du lieu, cet angle dépend des paramètres de la position du soleil et de l'angle d'inclinaison du capteur. Il est défini par :

$$\begin{aligned} \cos(\theta_i) = & \sin(\delta) \cdot \sin(\phi) \sin(\beta) - \sin(\delta) \cos(\phi) \sin(\beta) \cos(\alpha) \cos(\phi) \cos(\beta) \cos(\omega) \\ & + \cos(\delta) \sin(\phi) \sin(\beta) \cos(\alpha) \cos(\omega) + \cos(\delta) \sin(\alpha) \sin(\beta) \sin(\omega) \end{aligned} \quad (\text{II.12})$$

## II.13 Conclusion

L'irradiation solaire globale pour un site donné est fonction de plusieurs facteurs ; astronomiques et météorologiques. Dans ce chapitre on a parlé de ces facteurs astronomiques et de leurs définitions. Elle est influencée par deux principaux paramètres, en premier lieu on trouve les constituants de l'atmosphère, qu'ils soient permanents ou ceux dont la composition varie largement avec les activités de l'homme, et en second c'est le mouvement de la terre, alors il est important de faire une étude préliminaire du climat pour un site donné avant tout expose d'exploitation de l'énergie solaire.



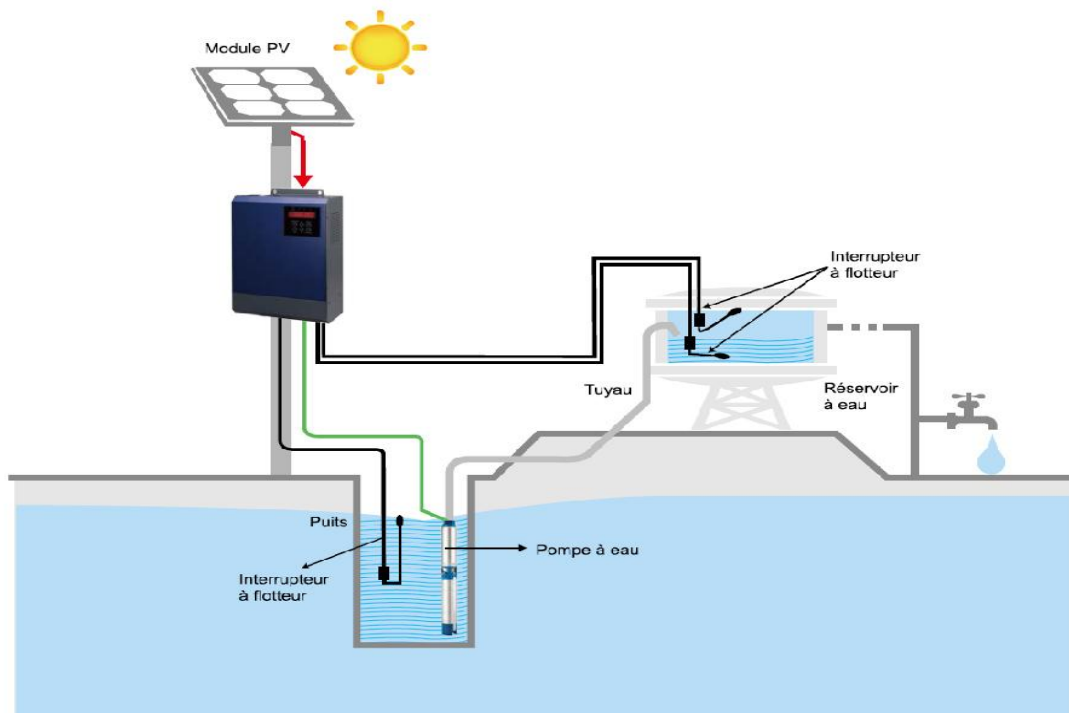
# Chapitre III : Simulation et interprétations

### III.1 Introduction

La demande croissante d'eau dans les zones rurales et sites isolés a fait qu'un intérêt grandissant est porté sur l'utilisation des générateurs photovoltaïques comme source d'énergie aux groupes moteur-pompes. En effet la réalisation de systèmes de pompage autonomes, fiables et à bon rendement constitue une solution pratique et économique au problème du manque d'eau dans les régions désertiques. Notre projet est un système de pompage autonome isolé non connecté au réseau électrique, c'est-à-dire, le courant électrique est créé par le système photovoltaïque autonome (Panneaux photovoltaïques) d'une pompe immergée d'une rivière vers un réservoir, puis cette eau sera distribuée soit à l'irrigation, ou soit à l'alimentation domestique, ou soit pour alimenter les animaux domestiques, d'où une modélisation et simulation par un logiciel PVsyst conçu au dimensionnement des structures alimentées par des systèmes photovoltaïques que se soient habitations, pompage et toute structure bâtie surtout dans des régions isolées.

### III.2 Présentation du projet

Le dimensionnement du système de pompage photovoltaïque au fil du soleil concerne essentiellement le calcul de la puissance crête du générateur photovoltaïque, le choix de la pompe et le choix du contrôleur répondants au service requis dans les conditions de référence.



**Figure III.1** : Schéma du principe de pompage au fil du soleil

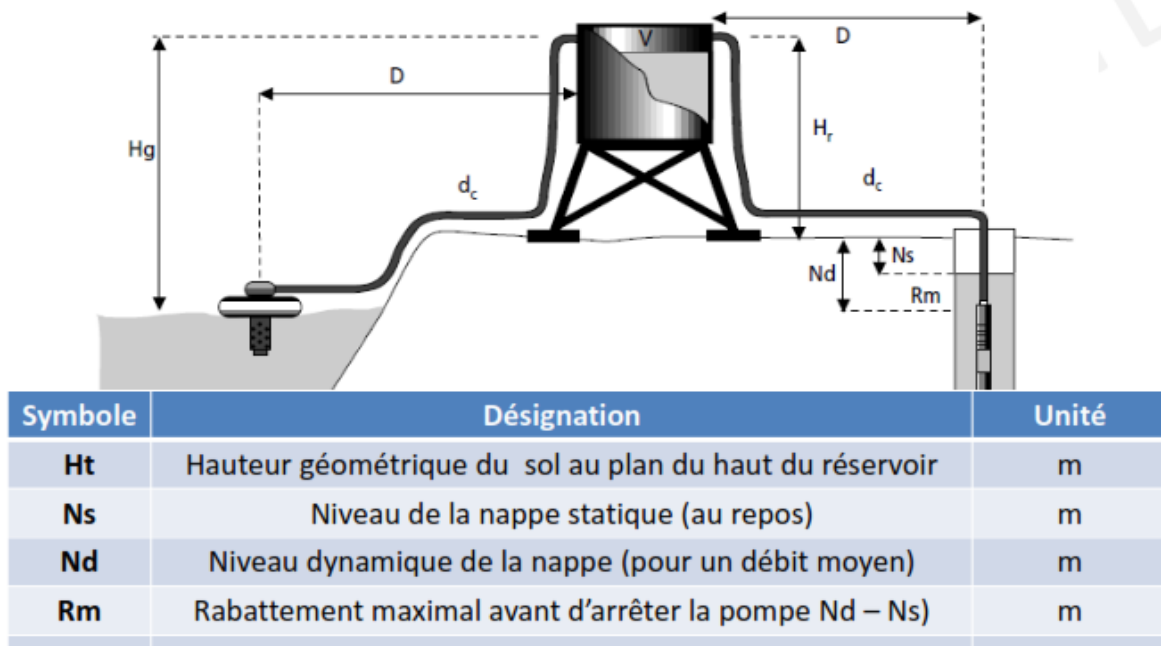


Figure III.2 : Description détaillée des différentes hauteurs.

### III.2 Pertes de charge

Chutes de pression produites par le frottement de l'eau sur les parois des conduites. Ces pertes sont fonction de la longueur des conduites ( $D$ ), de leur diamètre ( $d_c$ ) et du débit de la pompe ( $Q$ ). Elles s'expriment en mètres de colonnes d'eau (mCE). Le diamètre des conduites est calculé afin que ces pertes de charge correspondent au plus à 10 % de la hauteur manométrique (HMT)

#### ❖ Niveau statique

Le niveau statique ( $N_s$ ) d'une rivière ou d'un lac est la distance du sol à la surface de l'eau avant pompage.

#### ❖ Niveau dynamique

Le niveau dynamique ( $N_d$ ) d'une rivière ou d'un lac est la distance du sol à la surface de l'eau pour un pompage à un débit donné. Pour le calcul de la HMT, le niveau dynamique est calculé pour un débit moyen. On considère que notre système travaille sans perte de charges (Pertes de charge négligeable), donc notre hauteur manométrique totale sera :

$$HMT = Nd + Hr \quad (III.1)$$

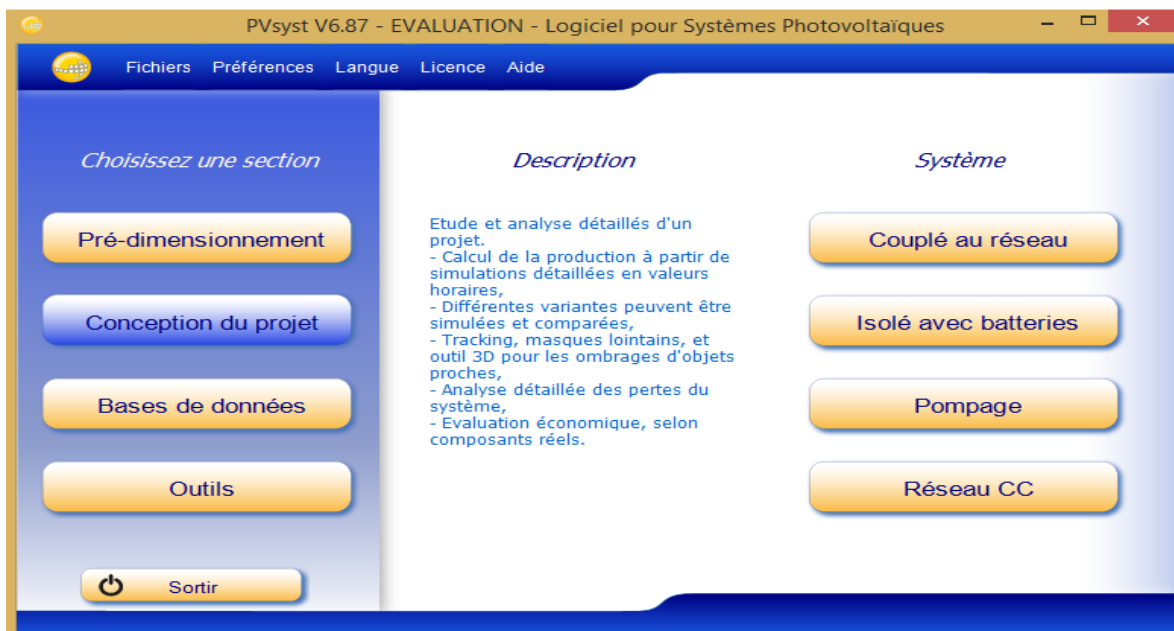
Avec :  $N_d$  : Niveau dynamique de la nappe d'eau

$H_r$  : Hauteur géométrique du sol au plan du haut du réservoir

### III.3 Logiciel PVSYST

Le logiciel PVsyst permet [31] :

- ✓ Pré-dimensionnement
- ✓ Estimation rapide de la production pour une première étude de vos installations
- ✓ Conception de projet
- ✓ Etude détaillée, dimensionnement et simulation horaire, résultats dans un rapport complet imprimable.
- ✓ Données météo (importation de diverses sources, génération synthétique).
- ✓ Base de données de composante (module PV, onduleur, batteries, pompes, etc.).
- ✓ Outils didactiques, (géométrie solaire, optimisation de l'orientation, comportement électrique du champ PV avec ombrage).
- ✓ Analyse de données réelles mesurées (avancé).



**Figure III.3 :** Interface de logiciel PVSYST

### III.3.1 Données de localisation du site

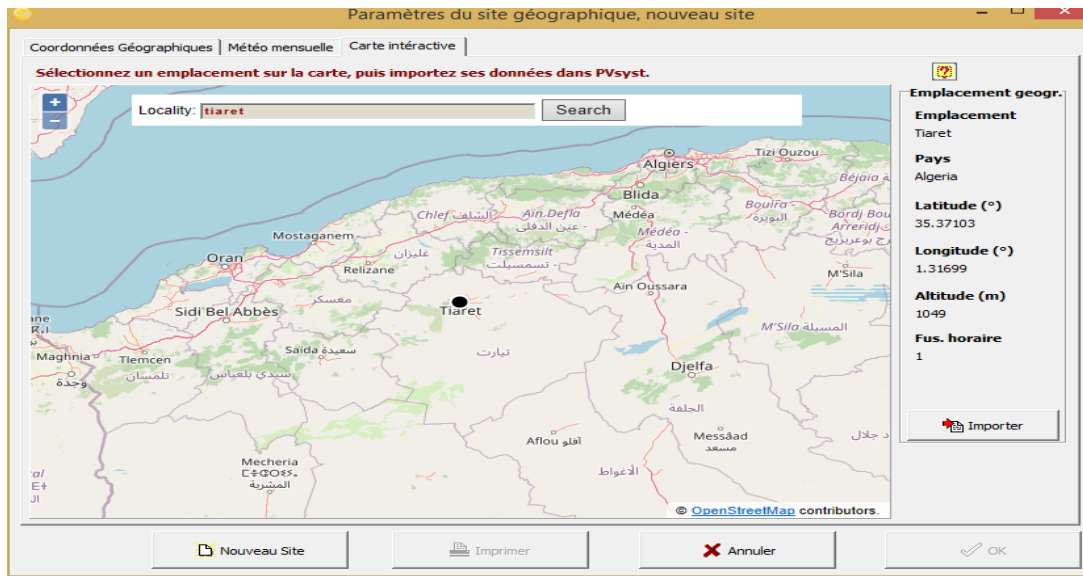


Figure III.4 : Emplacement géographique de la wilaya de Tiaret.

### III.3.2. Données météorologiques du site

Après avoir localisé le site, on clique sur le bouton « importer » pour importer les données météorologiques du site dans PVSYSY, ces données mensuelles représentent l’irradiation, la température, vitesse du vent, humidité ... etc.

Tableau III.1 : Caractéristiques climatiques du site de Tiaret

	<b>Irradiation Globale Horizontale</b>	<b>Irradiation diffuse horizontale</b>	<b>Température</b>	<b>Vitesse Du Vent</b>	<b>Turbidité Linke</b>	<b>Humidité Relative</b>
	Kwh/m <sup>2</sup> /mois	Kwh/m <sup>2</sup> /mois	C°	m/s	[-]	%
<b>JANVIER</b>	86.9	30	5.5	4.20	2.593	76.4
<b>FEVRIER</b>	100.1	36.8	7	4.09	2.740	73.6
<b>MARS</b>	155.6	46.5	10.2	4.29	3.087	69
<b>AVRIL</b>	177.1	60.5	12.2	4.30	3.216	66.4
<b>MAI</b>	212	66.2	17.6	3.9	3.684	56.2
<b>JUIN</b>	239.5	61.7	23.6	3.6	3.630	42
<b>JUILLET</b>	253.3	50.8	27.6	3.59	4.518	35.8
<b>AOUT</b>	231.6	42.7	26.5	3.50	3.887	40.1
<b>SEPTEMBRE</b>	168.2	49.4	20.9	3.29	3.518	56
<b>OCTOBRE</b>	138.5	31.5	17	3.8	3.087	62.8
<b>NOVEMBRE</b>	95.1	33.5	9.9	4.59	2.740	74.1
<b>DECEMBRE</b>	74.8	28.2	7	4.60	2.740	79.7
<b>ANNEE</b>	<b>1932.7</b>	<b>537.9</b>	<b>15.4</b>	<b>4</b>	<b>3.287</b>	<b>61</b>

### III.4. Coordonnées Géographiques

La connaissance du Coordonnées Géographique est nécessaire pour connaître Latitude, Longitude et l'Altitude de cette position de la wilaya de Tiaret.

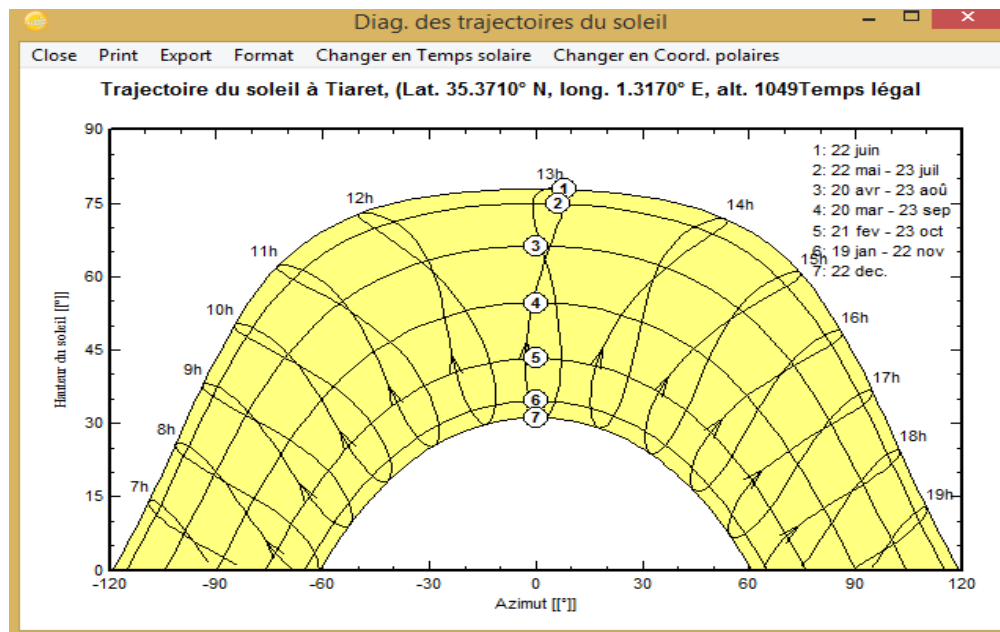
	Decimal	Degrés	Minutes	Secondes
Latitude	35.3710	35	22	15
Longitude	1.3170	1	19	1

**Tableau III.2 :** Coordonnées géographiques du site de Tiaret.

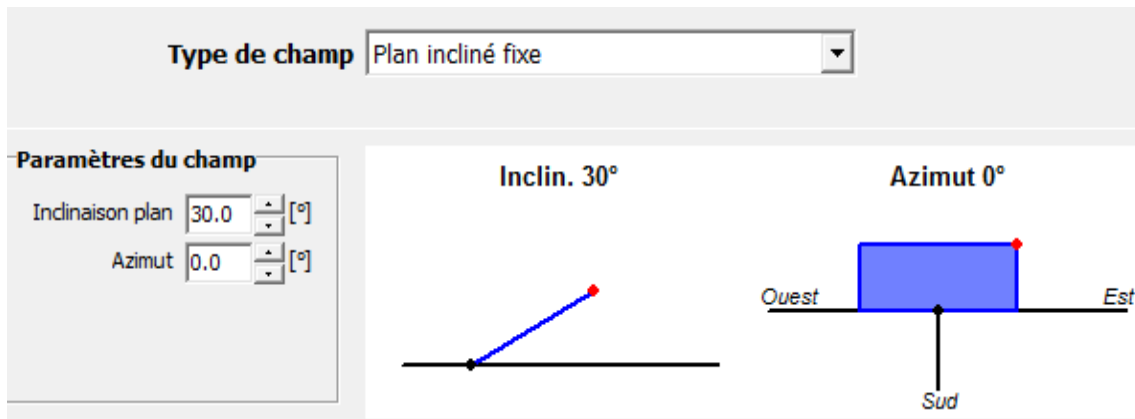
Avec une altitude de 1049 mètres au-dessus du niveau de la mer.

### III.5 Trajectoire du soleil

La connaissance du mouvement apparent du soleil pour un point donné de la sur face terrestre est nécessaire pour toute application solaire. La position du soleil est définie par deux angles : sa hauteur HS (angle entre le soleil et le plan horizontal du lieu) et son Azimut AZ (angle avec la direction du sud, compté négativement vers l'Est).

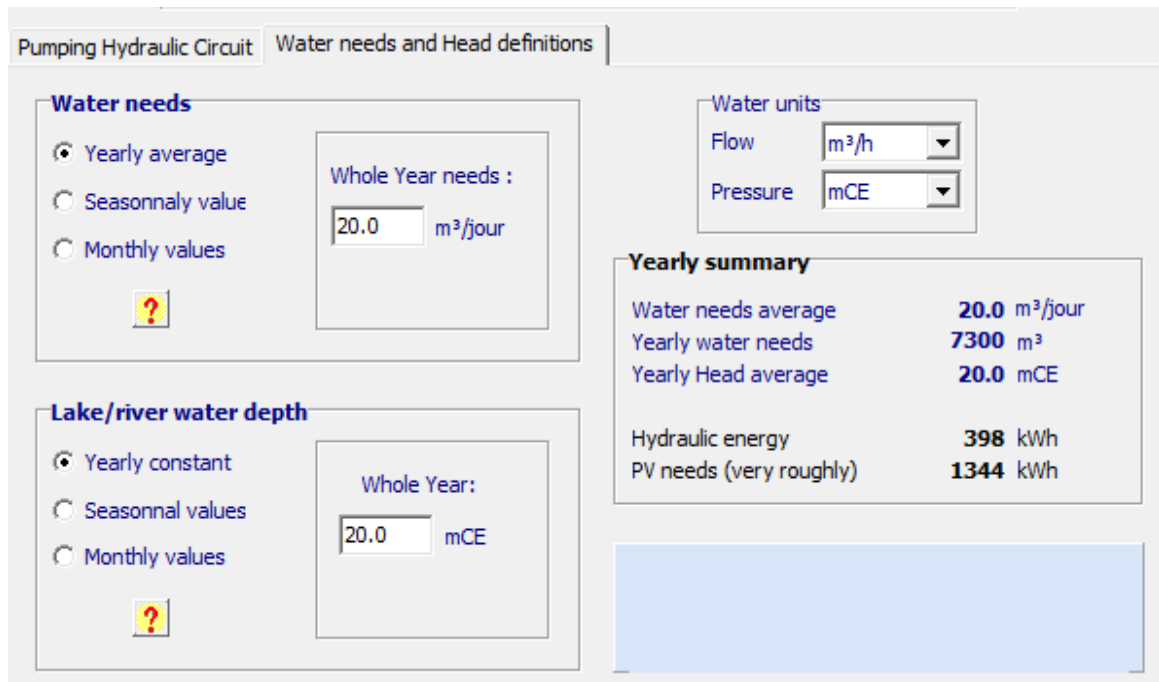


**Figure III.5 :** Trajectoire du soleil à Tiaret



**Figure III.6 :** Orientation et inclinaison du système PV.

On a choisi une orientation de 30 ° des panneaux photovoltaïques, car c'est une orientation généralement la plus utilisée et a apportée de bons résultats.



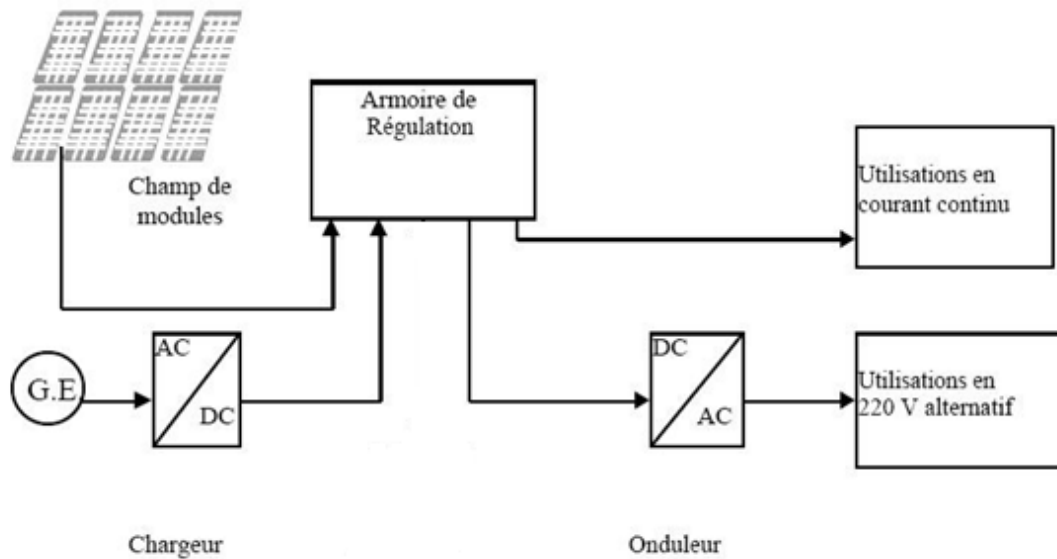
**Figure III.7 :** Besoins journaliers en eau.

Notre projet est pomper un volume moyen de 20m<sup>3</sup> par jour, selon nos besoins, donc soit 7300m<sup>3</sup> par an, soit une énergie hydraulique de 398 KWh.

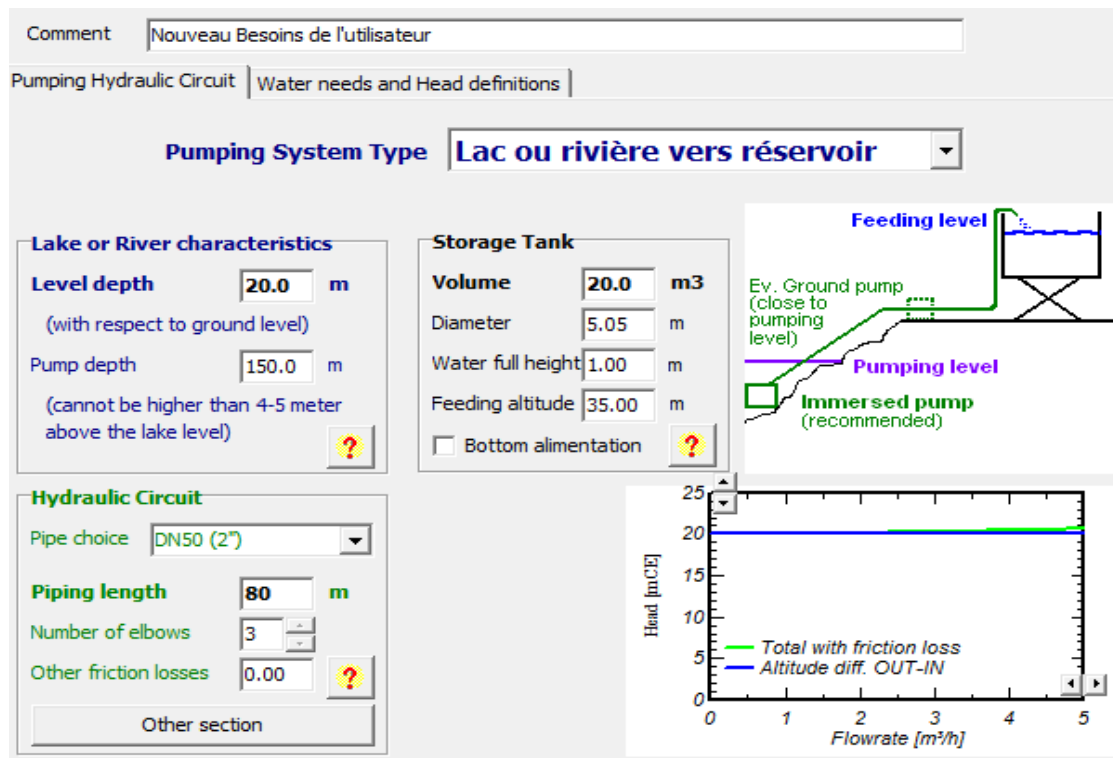
### III.6. Schéma de l'installation PV

La figure (III.8) représente le schéma de l'installation PV autonome prise en compte dans la simulation.





**Figure III. 8 :** Schéma simplifié d'une installation PV autonome.



**Figure III.9 :** Besoins en eau et différents paramètres du projet.

Pour notre système de pompage sur site isolé de la wilaya de Tiaret, on a conçu à mettre en place d'un système de pompage photovoltaïque caractérisé par une pompe immergée dans une rivière qui refoule de l'eau directement vers un château d'eau placé directement au voisinage de la zone d'irrigation. Le tableau ci-dessous présente les différentes données du projet de pompage voulu.

Hauteur statique	20.00 m
Profondeur de pompage	150.00 m
Besoin journalier	20.00 m <sup>3</sup>
Diamètre du réservoir	05.05 m
Hauteur d'alimentation	35.00 m
Réservoir de stockage	20.00 m <sup>3</sup>

**Tableau III.3** : Les différentes données de la simulation (projet de pompage).

Pre-sizing suggestions

Average daily needs :  
 Head min. 20.0 mCE  
 Head max 20.4 mCE  
 Volume 20.0 m<sup>3</sup>/jour  
 Hydraulic power 220 W (very approximative)

Requested autonomy 4.0 day(s)  
 Accepted missing 5.0 %

Suggested tank volume 80 m<sup>3</sup>  
 Suggested Pump power 602 W  
 Suggested PV power 760 Wp (nom.)

---

Pump definition SubArray Design

System information  
 Chosen pump Surface Head 15-40 - FR 4 m3\_h  
 Technology Centrifuge  
 Max. power 700 W

Head HeadRange  
 Flow Rate

Presizing help  
 No Sizing Enter planned power 1.0 kWp,  
 Resize ... or available area 7 m<sup>2</sup>

Select the PV module  
 Disponibles  
 Generic 250 Wp 26V Si-mono Mono 250 Wp 60 cells Bi Since 2015 Typical Open

Approx. needed modules 4 Sizing voltages: Vmpp (60°C) 25.7 V  
 Voc (-10°C) 42.2 V

Select the control mode and the controller  
 Universal controller Control mode Convertisseur MPPT-DC

Tous les fabricants 1000 W Convertisseur MPPT-DC Universal MPPT - DC Converter Generic device Ac Open

The operating parameters of the generic default controller will automatically be adjusted according to the properties of the system.

PV Array design

Number of modules and strings  
 Mod. in serie 2 should be :  
 seule possibilité 2  
 entre 1 et 3

Overload loss N/A  
 Pnom ratio N/A  
 Nb modules 4 Area 7 m<sup>2</sup>

Operating conditions :  
 Vmpp (60°C) 51 V  
 Vmpp (20°C) 63 V  
 Voc (-10°C) 84 V

Plane irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>  
 Imp 16.4 A  
 Isc 17.3 A  
 Isc (at STC) 17.3 A

Max. operating power 0.9 kW  
 à 1000 W/m<sup>2</sup> et 50°C  
 Array's nom. power (STC) 1.0 kWp

**Figure III.10** : Choix des modules et des onduleurs correspondants de notre système de pompage.



**Figure III.11** : Schéma d'un onduleur de notre système de pompage.

Pre-sizing suggestions

Average daily needs :	Requested autonomy	4.0 day(s)	Suggested tank volume	80 m <sup>3</sup>
Head min. 20.0 mCE	Accepted missing	5.0 %	Suggested Pump power	602 W
Head max 20.4 mCE			Suggested PV power	760 Wp (nom.)
Volume 20.0 m <sup>3</sup> /jour				
Hydraulic power 220 W (very approximative)				

---

Pump definition | SubArray Design

**Pump(s) model and layout**

Generic

700 W 15-40 m Surf. DC. Centrifuge Surface Head 15-40 - FR. 4 m3 Since 2020

1 Pumps in serie  
1 Pumps in parallel

**Pump characteristics**

Pump technology	Centrifuge		
Motor	Moteur DC sans balais		
Maximal power	700 W	Voltage	48 V
		Max. Current	13.0 A
Head Min / Nom / Max	15	27	40 mCE
Corresp FlowRate	4.9	3.7	2.6 m <sup>3</sup> /h
Corresp Power	600	623	680 W
Efficiency	33.7	44.1	41.1 %

**Units for this project**

Flow rate: m<sup>3</sup>/h  
Head: mCE  
Power: kW  
Energy: kWh

**Hydro Energy calculation tool**

You can type here any values, not necessarily related to your project

Flow rate: 4.4 m<sup>3</sup>/h  
Head: 20.5 mCE  
Power: 0.244 kW

Figure III.12 : Choix de la pompe avec ses caractéristiques adaptables au système en étude.



Figure III.13 : Schéma d'une pompe générique (700 W 15-40m Surf. DC. Centrifuge)

Variante du Système (version de calcul)

N° de Variante: VCO : Nouvelle variante de simulation

**Paramètres d'entrée**

Paramètres principaux: Orientation, Besoins d'eau, Système, Pertes détaillées

Optionnel: Horizon, Ombrages proches, Eval. économique

**Simulation**

Lancer la simulation, Simulation avancée, Rapport, Résultats détaillés

**Résultats principaux**

Type de système	Système de pompage PV	
Eau pompée	7272	m <sup>3</sup> /year
Besoins d'eau	7300	m <sup>3</sup> /year
Eau manquante	0.4	%
Energie à la pompe	1108	kWh
Energie spécifique	0.15	kWh/m <sup>3</sup>
Efficacité système	34.1	%

Figure III.14 : Interface globale du PVsys pour simulation.

C'est la configuration finale de l'interface PVsyst, à partir de laquelle, on lance notre simulation, l'apparition des différentes étapes mentionnées en vert, signifie que vous pouvez lancer votre simulation sans contraintes, et si votre système n'est pas bien présenté, c'est-à-dire, que l'une des étapes n'est pas conforme, ça paraît en couleur rouge et vous ne pouvez pas lancer votre simulation.

### **III.7. Rapport de simulation (En Annexe)**

Après la simulation par le PV<sub>SYST</sub> 6.88 de la consommation de notre système de pompage au fil du soleil, on obtient un rapport des résultats (date 12/03/2022).

### **III.8. Modules photovoltaïques**

#### **III.8.1 Branchement de PPV pour notre système de pompage.**

D'après le rapport de la simulation et d'après les résultats, on a conclu que notre modélisation par le logiciel PVsyst a abouti à :

**Quatre (04) modules** en parallèle de puissance globale du champ nominale de 1750Wc aux conditions de fonctionnement de 1552 Wc à la température de 30°C, d'une surface totale des modules de 7m<sup>2</sup>.

Ces panneaux photovoltaïques avec Silicium poly cristallin de modèle (Mono 250 Wp 60 cells Bifacial).

Les modules sont un assemblage de photopile (ou cellule) montée en parallèle, afin d'obtenir la tension désirée (12V, 24V...).la cellule photovoltaïque est l'élément de base dans la conversion du rayonnement. Plusieurs cellules sont associées dans un module qui est la plus petite surface de capacité transformable, montrable et démontrable sur un site.

Les modules sont regroupés en panneaux, qui sont à leur tour associés pour obtenir des champs photovoltaïques selon les besoins. Les cellules photovoltaïques sont réalisées principalement par le silicium cristallin, qui est utilisé sous forme monocristalline ou multi-cristalline en plaquette ou en ruban ou encore en couches semi-minces sur substrat selon les technologies récentes.

Données de base | **Dimensions et Technologie** | Paramètres modèle | Données additionnelles | Commercial | Graphiques

Description **Generic, Mono 250 Wp 60 cells Bifacial**

Module		Cellules	
Longueur	1640 mm	En série	60
Largeur	992 mm	En parallèle	1
Épaisseur	50.0 mm	Surface cellule	237.0 cm <sup>2</sup>
Poids	19.80 kg	Nbre cellules total	60
Surf. module	1.627 m <sup>2</sup>	Surface cellules	1.422 m <sup>2</sup>

La définition des dimensions du module est obligatoire, utilisée pour la définition de l'efficacité "usuelle".  
La surface des cellules est facultative, elle permet de définir l'efficacité au niveau de la cellule..

**Technologie et spécificités du module**

Cadre: Aluminium  
Structure: 3.2 mm tempered  
Connexions: MC-4  
Generic module for DEMO

**Tension champ max.**  
Tension maximale absolue du champ en toutes conditions (soit Voc aux températures les plus basses).  
Tension maximum IEC: 1000 V  
Tension maximum UL (US): 600 V

**Diode by-pass de protection**  
Nb. of sub-modules: 3 /module (i.e. functional by-pass diodes)  
Partition sous-modules:  
 En longueur     Twin half cells  
 En largeur     Shingled cells

Module tuile  
 CPV: module à concentration  
 Module bifacial

**Bi-facial module**  
Bifaciality factor: 0.800 ✓ ?  
Ratio between the front nominal efficiency and the rear side efficiency at STC

**Figure III.15 :** Dimensions et caractéristiques des panneaux photovoltaïques.

On a utilisé des PV de 1640mm de longueur soit 1.640m, de 992mm de largeur (0.992m) et de 50 mm d'épaisseur, avec un poids de 19.80kg, soit la surface du module unitaire est de 1.627m<sup>2</sup>.



**Figure III.16 :** Modèle d'un panneaux photovoltaïques.

Après la simulation de notre système, nous avons obtenu les résultats mentionnés sur le tableau ci-dessous

**Tableau III.4 : Bilans globales et résultats principaux.**

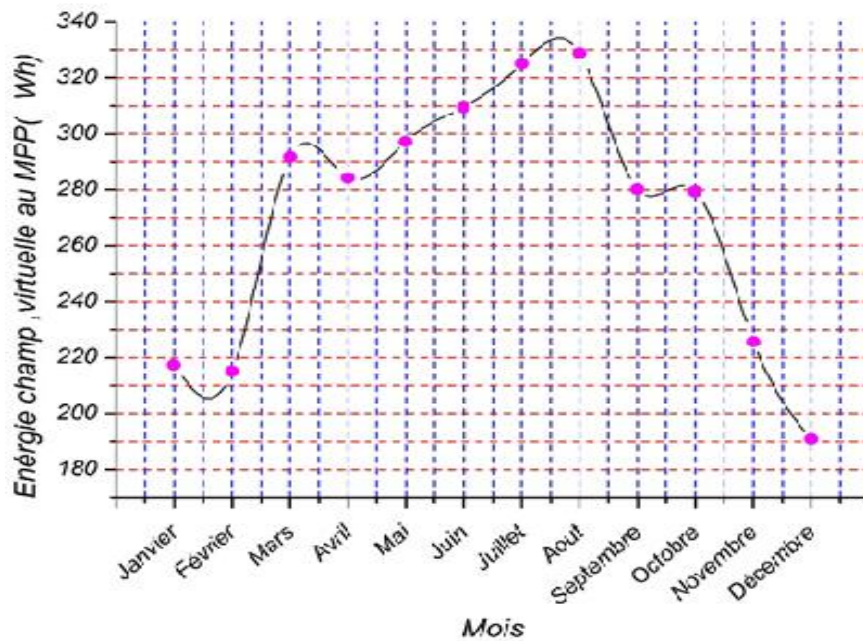
	<b>EArrMPP</b>	<b>E_PmpOp</b>	<b>ETkFull</b>	<b>H_Pump</b>	<b>WPumped</b>
	<b>Wh</b>	<b>KWh</b>	<b>KWh</b>	<b>mCE</b>	<b>m<sup>3</sup>/jour</b>
<b>Janvier</b>	217.4	93.7	113.5	21.36	19.76
<b>Février</b>	215.1	84.39	120.1	21	19.94
<b>Mars</b>	291.6	95.12	179.4	21.26	20.04
<b>Avril</b>	284.2	92.67	174.7	21.12	20
<b>Mai</b>	297.	94.27	187.8	20.94	20.02
<b>Juin</b>	309.4	90.77	203.3	20.99	20
<b>Juillet</b>	324.9	93.44	216.1	21.04	20
<b>Aout</b>	328.7	95.22	218.9	21.06	19.97
<b>Septembre</b>	280.2	91.08	175.5	21.12	20
<b>Octobre</b>	279.4	93.47	173.1	21.24	19.72
<b>Novembre</b>	225.7	90.46	125.7	21.20	19.89
<b>Décembre</b>	190.9	93.09	88.4	21.13	19.76
<b>Année</b>	3244.9	1107.68	1976.4	21.11	19.92

**Tableau III.5 : Tableau de définition de symbolisation des énergies.**

<b>EArrMPP</b>	Energie champ, virtuelle au MPP
<b>E_PmpOp</b>	Energie de fonctionnement pompe
<b>EtkFull</b>	Energie inutilisée (réservoir plein)
<b>H_Pump</b>	Pression totale moyenne à la pompe
<b>WPumped</b>	Eau pompée



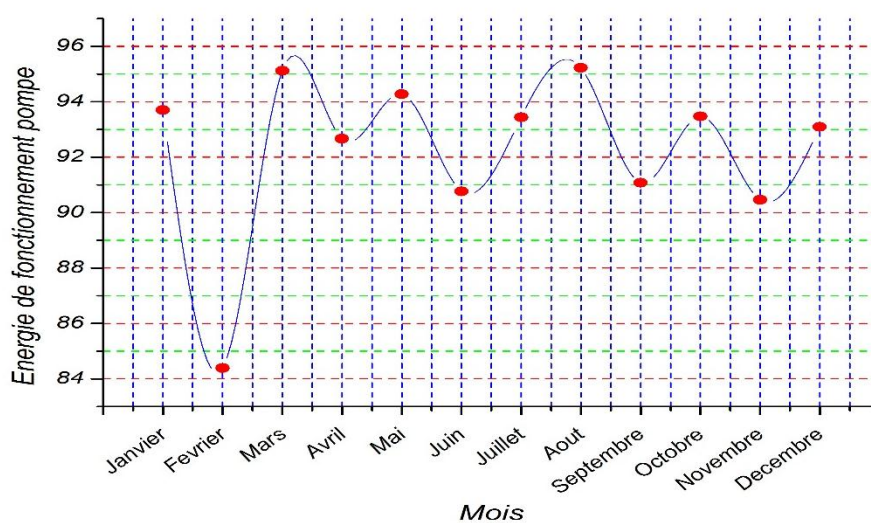
### III.8.2. Energie champ, virtuelle au MPP [KWh]



**Figure III.17 :** Energie champ, virtuelle au MPP

Dans cette figure qui représente l'énergie du champ virtuel au MPP, elle connaît une croissance à partir du mois de mars jusqu'à la fin du mois de septembre, cela s'explique par l'augmentation de la température dans ces mois à partir de la saison du printemps jusqu'à la fin de l'été, et sa valeur maximale ne dépasse pas les 330 KWh.

### III.8.3. Energie de fonctionnement pompe [KWh]

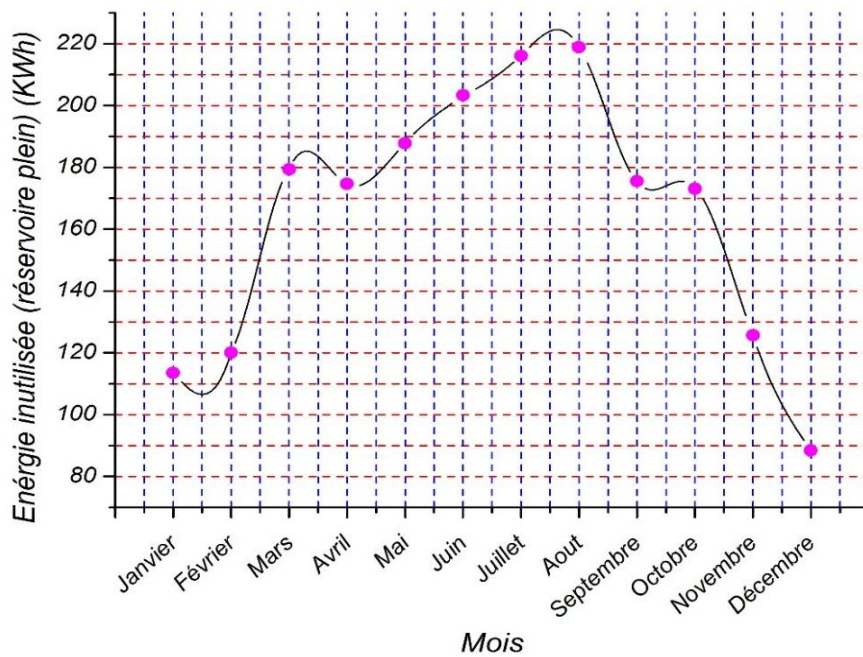


**Figure III.18 :** Energie de fonctionnement de la pompe



Les premières constatations de cette figure, montrent que la pompe fournit moins d'énergie dans la période à basse température, c'est-à-dire du mois de novembre, jusqu'à le mois de février, mais pour les autres mois, la pompe fournit plus d'énergie, surtout dans la saison d'été, dont la température des panneaux photovoltaïques est élevée, et peut être la quantité d'eau emmagasinée dans le réservoir est moins importante. Pour cela, la pompe fournit plus d'effort pour pouvoir aspirer l'eau et le pomper vers le réservoir et l'énergie maximale que peut atteindre la pompe est presque 95.5 KWh.

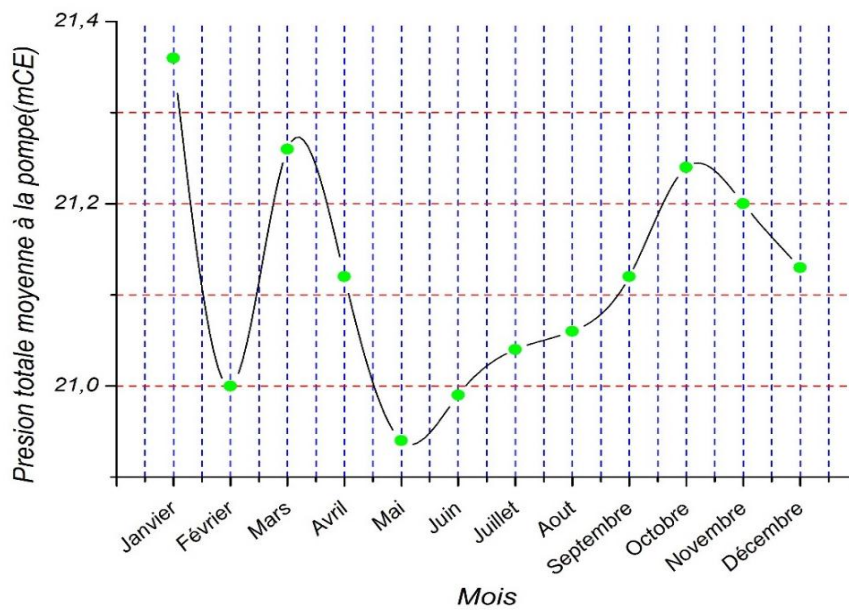
#### III.8.4. Energie inutilisée (réservoir plein) [KWh]



**Figure III.19 :** Energie inutilisée (réservoir plein)

L'énergie non utilisée c'est l'énergie lorsque le réservoir est plein, c'est-à-dire, lorsque le réservoir est plein, la pompe sera à l'arrêt, et l'énergie produite par le système photovoltaïque sera stockée et l'utilisée au moment opportun, elle atteint les 220 KWh au mois d'aout et même pour les autres mois de l'été, mais elle ne dépasse pas les 180KWh à partir du mois de novembre jusqu'à le mois d'avril.

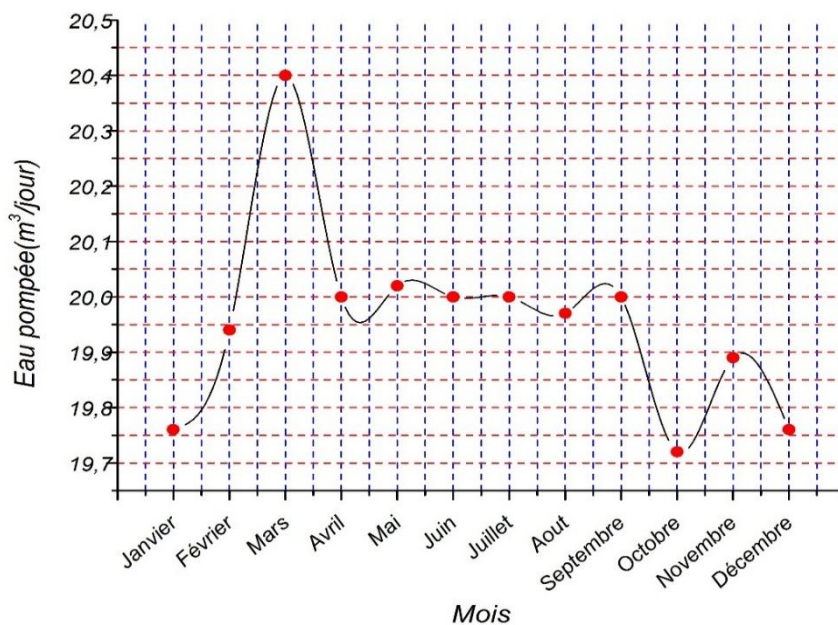
### III.8.5. Pression totale moyenne à la pompe (mCE)



**Figure III.20 :** Pression totale moyenne à la pompe.

La pression totale moyenne de la pompe atteint sa valeur maximale durant le mois de janvier qui atteint les 21.3 mCE et environ 21.28 mCE durant le mois de mars, et se stabilise entre 20.8mCE et 21.2 mCE pour les restes des autres mois, cela s'explique par la stabilité de cette pression, pour permettre un bon fonctionnement de la pompe et d'avoir acquis une fiabilité d'utilisation.

### III.8.6. Eau pompée [ $m^3$ /jour]



**Figure III.21 :** Eau pompée par jour.

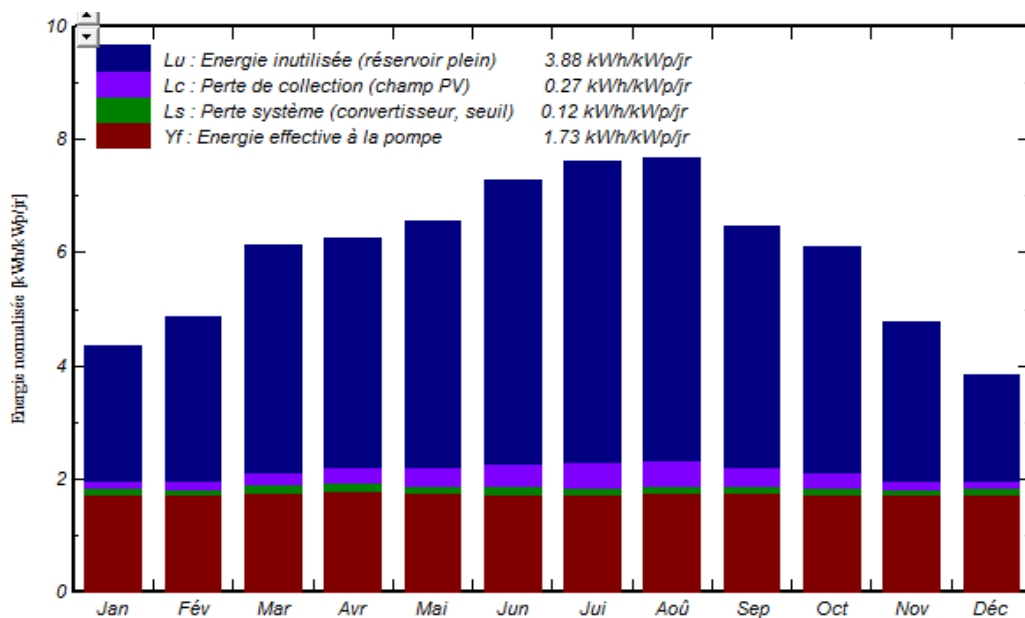


On a utilisé une pompe surface Head 15-40 –FR4m3-h ; Tension nominale de 48V avec une puissance minimale de 700W, et un courant maximal de 13.0A, cette pompe adaptable à une profondeur de 15m à 40m.

La pression de base étant de 20.0mCE avec un besoin journalier en eau de 20m<sup>3</sup>/jour, notre pompe de marque Solaflex 2.6/Fluxinox.

Le convertisseur de puissance d'onduleur MPPT-DC avec une tension minimale de 21V, d'une puissance de 1400W, d'une tension maximale de 35V ; la tension du champ maximale de 44V avec une efficacité maximale de 97%.

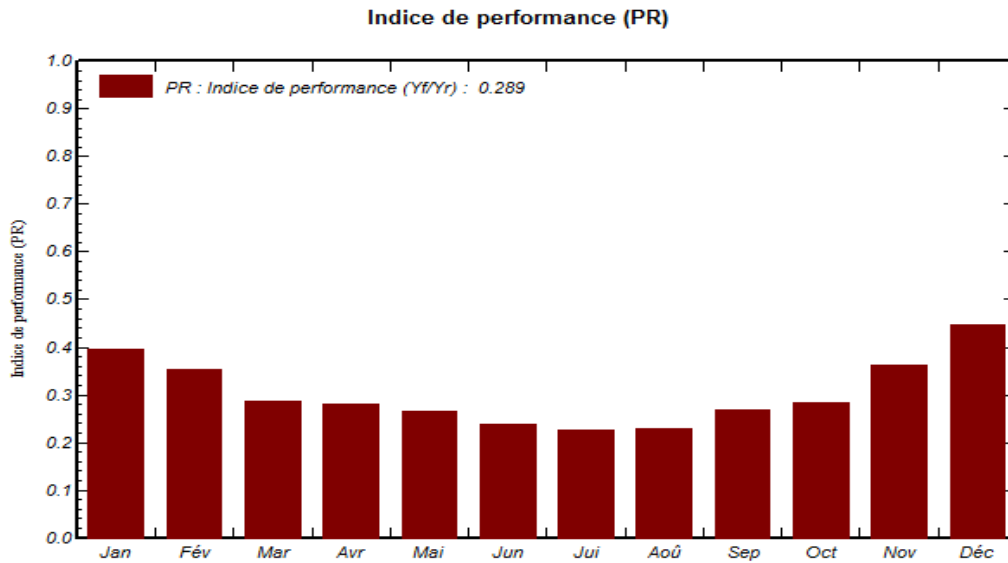
### III.9.1. Productions normalisées



**Figure III.23 :** Productions normalisées (par kWp)

Cette figure montre la variation normalisée de l'installation en fonction des différents mois de l'année, On remarque bien que l'énergie effective à la pompe étant presque la même durant les différents mois de l'année d'ordre 1.73 kWh/kWp/j, pour les pertes du système (Convertisseur seuil) étant de 0.12 kWh/kWp/j, cette valeur est maximale dans la saison d'été et moins importante dans les mois d'hiver, tels que décembre, janvier et le mois de février.

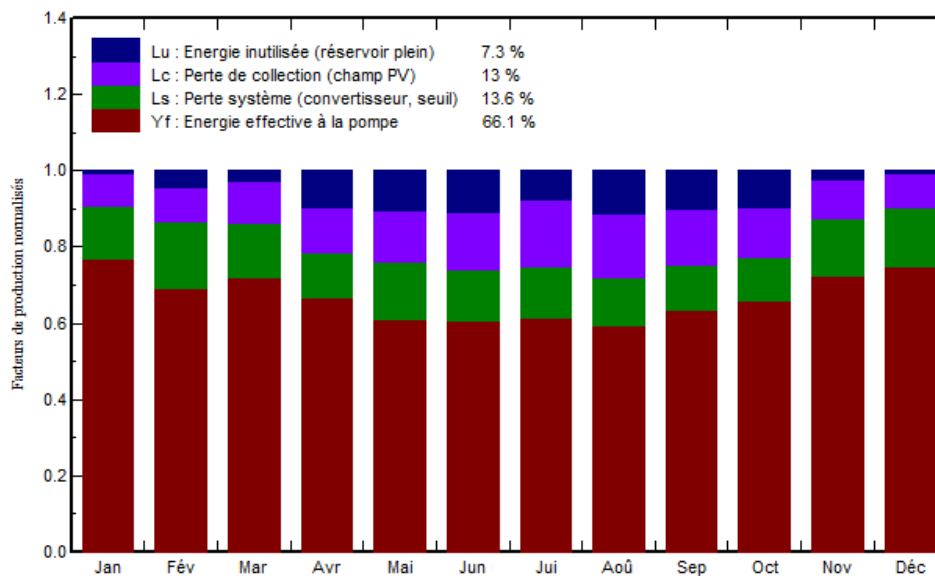
### III.9.2. Indice de performance



**Figure III.24 :** Indice de performance (PR) et Fraction solaire (SF).

Pour cette figure qui représente l'indice de performance et fraction solaire en fonction des différents mois de l'année, on constate que cet indice est très important pendant les mois de janvier, février, novembre et décembre, dans ces mois où la température est très basse, cette valeur étant environ 0.8, pour les autres mois, ce facteur de performance varie d'un mois à un autre et n'excède pas les 0.633.

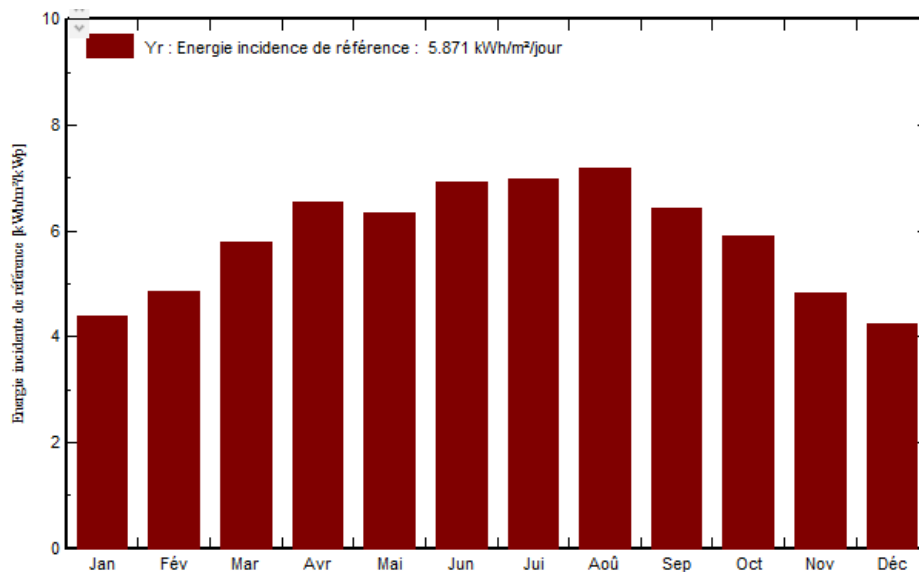
### III.9.3. Facteurs normalisés de production



**Figure III.25 :** Facteurs normalisés de production et de pertes.

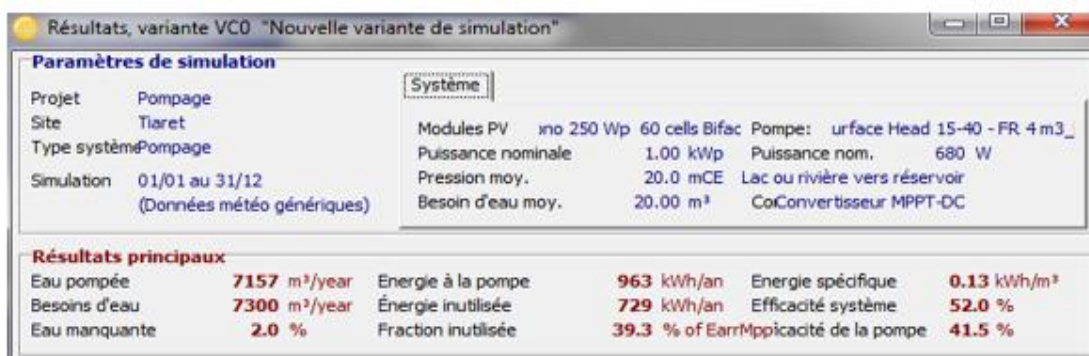


Cette figure représente les facteurs normalisés de production et de pertes, on constate que l'énergie inutilisée (réservoir plein) est de 7.3%, qui connaît son maximum au mois d'Aout, et elle presque négligeable aux mois de décembre et janvier. Pour les pertes du système (Convertisseur) est de 13%, cette perte est importante pour les mois de la saison d'hivers et de l'automne, car dans ces saison la température n'excède pas les 20°C. Concernant l'énergie effective de la pompe moyenne est de 66.1%, elle est moins importante dans la période où il y'a du bon ensoleillement, et cette énergie est considérable dans les mois où l'ensoleillement est moins important.



**Figure III.26 :** Energie incidente de référence dans le plan capteur.

Pour l'énergie incidente de référence dans le plan capteur, c'est très claire que cette énergie atteint son maximum pour les mois qui connaissent un beau soleil, surtout en Algérie, à partir du mois d'Avril, jusqu'au mois de Septembre et peut atteindre environs les 7 KWh/m<sup>2</sup>/jour ; pourtant sa valeur moyenne annuelle est de 5.871 KWh/m<sup>2</sup>/jour.



**Figure III.27 :** Principaux résultats et paramètres de simulation.

Cette figure illustre les différents paramètres de notre projet de pompage tel que :

Nom du projet est une pompe immergée au niveau du site isolé de la wilaya de Tiaret, avec des modules PV de marque (Mono 250 Wp 60 cells Bifacial).d'une puissance nominale de 1.00 KWp, et d'une pompe de marque Urfac Head 15-40-FR4m3, d'une puissance nominale de 680 W, d'une pression moyenne du débit de 20mCE, avec un débit de 10m<sup>3</sup>/jour et le type d'onduleur est MPPT-DC

Eau pompée est 7157 m<sup>3</sup>/an, l'énergie à la pompe est 963 KWh/an, soit l'énergie spécifique de 0.13 KWh/m<sup>3</sup>.

Besoin d'eau est 7300 m<sup>3</sup> /an, soit l'énergie inutilisée de 723 KWh/an, d'où l'efficacité du système est 52%.

L'eau manquante est 2% et l'efficacité de la pompe est de 41.5%.

### **III.5 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons vu avec certains détails toutes les étapes nécessaires au dimensionnement et à la modélisation de notre système de pompage photovoltaïque. à l'aide du logiciel de modélisation de notre système et d'essayer d'optimiser le nombre et la qualité des panneaux photovoltaïque, des régulateurs, et des onduleurs en prenant compte des paramètres réels envisageables (le besoin en eau, la disposition du site sur le terrain, les contraintes en termes de puissance, les paramètres constructeur etc.) ce qui nous permet de simuler un fonctionnement dans des conditions réelles très précises (Température, ensoleillement, puissance. etc.)



# Conclusion générale

## Conclusion générale

L'alimentation en électricité rentre dans un programme annuel du ministère de l'énergie et des mines, qui inclut toutes les zones concernées par l'électrification, que ce soient des fermes, de petits villages ou d'autres régions isolées ; pour cela, les installations photovoltaïques demeurent une solution adéquate et efficace pour ce genre de problèmes, soit pour éclairage, ou soit pour le système de pompage photovoltaïque. Notre projet est un système de pompage autonome isolé non connecté au réseau électrique au niveau de la Wilaya de Tiaret, c'est-à-dire, le courant électrique est créé par le système photovoltaïque autonome (Panneaux photovoltaïques) d'une pompe immergée dans une rivière vers un réservoir, puis cette eau sera distribuée soit à l'irrigation, ou soit à l'alimentation domestique.

Pour cela, on a simulé notre système par un logiciel conçu au dimensionnement des systèmes photovoltaïques et on a abouti à des conclusions suivantes :

**Quatre (04) modules** en parallèle de puissance globale du champ nominale de 1750Wc aux conditions de fonctionnement de 1552 Wc à la température de 50°C, d'une surface totale des modules de 7m<sup>2</sup>.

Ces panneaux photovoltaïques avec Silicium poly cristallin de modèle (Mono 250 Wp 60 cells Bifacial

On a utilisé une pompe surface head 15-40 –FR4m3-h ; Tension nominale de 48V avec une puissance minimale de 700W, et un courant maximal de 13.0A, cette pompe adaptable à une profondeur de 15m à 40 m. La pression de base étant de 20mCE avec un besoin annuel en eau de 20m<sup>3</sup>/jour, notre pompe de marque Solaflux 2.6/Fluxinox.

Le convertisseur de puissance d'onduleur MPPT-DC avec une tension minimale de 21V d'une puissance de 1400W, d'une tension maximale de 35V ; la tension du champ maximale de 44V avec une efficacité maximale de 97%.

Eau pompée est 7157 m<sup>3</sup>/an, l'énergie à la pompe est 963 KWh/an, soit l'énergie spécifique de 0.13 KWh/m<sup>3</sup>.

Besoin d'eau est 7300 m<sup>3</sup> /an, soit l'énergie inutilisée de 723 KWh /an, d'où l'efficacité du système est 52%.

L'eau manquante est 2% et l'efficacité de la pompe est de 41.5%.

En perspectives :

On admet toujours à concrétiser nos recherches expérimentalement, surtout on trouve de l'aide au niveau de notre université de pouvoir alimenter au moins nos Amphis et d'autres projets au niveau de notre faculté.

## Références bibliographiques

- [1] BENOUDJIT Chalabia, " étude pour la conception d'un banc d'essais pour «Energie Eolienne", mémoire de magister en machine électrique, université de BATNA.
- [2] Jean Hladik, "Energétique éolienne", Chauffage éolien. Production d'électricité. Pompage. 1984.
- [3] ROBERT Jérôme, FABAS Laurent : Guide de la maison économe, Edition Eyrolle, Paris 2008
- [4]<https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/enjeuxetprospective/decryptages/energiesrenouvelables/energie-eolienne-transformer-vent-en-electricite>, (consulté le 28/02/2022 à 10 :00)
- [5] P. Leconte, M. Rapin, E. Széchenyi, "Eoliennes", Techniques de l'Ingénieur, traité de Génie mécanique, pp. BM 4 640 1 - BM 4 640 21.
- [6] P. Leconte, M. Rapin, E. Szechenyi, "Eoliennes", Techniques de l'Ingénieur, traité de Génie mécanique, pp. BM 4 640 1 - BM 4 640 21.
- [7] O. De Vires "On the theory of the horizontal axis Wind turbine", Ann. Rev Fluid. Mech. 1983, 15, pp. 77-96.
- [8] J.L. Menet, L.-C. Valdès, B. Ménart, "A comparative calculation of the wind turbines capacities on the basis of the L- $\sigma$  criterion", Renewable Energy 22, 2001, pp. 491-506.
- [9] R. Swisher, C. Real de Azua, J. Clendenin, « Strong winds on the horizon : wind power comes of age », proceedings of the IEEE, vol. 89, N°. 12, December 2001, pp. 1757-1764.
- [10] Internet. <http://perso.wanadoo.fr/ageden/solaire1.htm>.
- [11] Internet.[http://canren.gc.ca/tech\\_appl/Index\\_f.asp?cald=5&Pgld=438](http://canren.gc.ca/tech_appl/Index_f.asp?cald=5&Pgld=438).
- [12]<https://www.candeliance.fr/wp-content/uploads/2019/10/ecalirage-solaire-connecte-nowatt.jpg> (consulté le 03/07/2022 à 14 :53)
- [13] A. Attar, "Les énergies renouvelables" ancien PDG de Sonatrach et ancien Ministre des Ressources en Eau.
- [14]<https://www.maison-travaux.fr/maison-travaux/renovation-par-type/energies-renouvelables-renovation-par-type/solaire-energies-renouvelables-renovation-par-type/energie-solaire-ca-fonctionne-fp-183097.html/amp>

- [15] <https://www.travaux.com/images/cms/medium/133b0242-cb40-4c4a-a8c8-0c97e43fabca.jpg> (consulté le 03/07/2022 à 15:02).
- [16] <https://lenergie-solaire.net/qu-est-ce-que-energie-solaire/avantages-inconvenients>
- [17] Internet.[http://perso.wanadoo.fr/ageden/hydraulique/page\\_accueil1.htm](http://perso.wanadoo.fr/ageden/hydraulique/page_accueil1.htm).
- [18] [https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/styles/image\\_530\\_px\\_large/public/image\\_article/Barrage-hydroelectrique.jpg?itok=UTnOsBuP](https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/styles/image_530_px_large/public/image_article/Barrage-hydroelectrique.jpg?itok=UTnOsBuP) (consulté le 03/07/2022 à 15:15).
- [19] <https://images.schoolmouv.fr/2de-svt-cours07-image03.png> (consulté le 03/07/2022 à 15:20)
- [20] [https://www.missionenergie.goodplanet.org/uploads/2019/09/fiche\\_energiehydraulique-1200.jpg](https://www.missionenergie.goodplanet.org/uploads/2019/09/fiche_energiehydraulique-1200.jpg) (consulté le 03/07/2022 à 15:30)
- [21] [http://4.bp.blogspot.com/\\_w\\_DGcfHhjPk/THTCSBkBOSI/AAAAAAAAAICY/pzVBoubJS6A/s1600/100824\\_CETO+3+Installation+Activities+Update.jpg](http://4.bp.blogspot.com/_w_DGcfHhjPk/THTCSBkBOSI/AAAAAAAAAICY/pzVBoubJS6A/s1600/100824_CETO+3+Installation+Activities+Update.jpg) (consulté le 03/07/2022 à 15:35).
- [22] <https://www.challenges.fr/assets/img/2013/08/14/cover-r4x3w1000-578d3c99e8007-centrale.jpg> (consulté le 03/07/2022 à 16:09)
- [23] H .Atmania, "La stratégie d'implantation des énergies renouvelable en Algérie Mémoire de Magister en Management ". Université d'Oran-2-Mohamed ben Ahmed.2015.
- [24] <https://peer.perigueux.u-bordeaux.fr/images/blogs/energie/images/hydrolienne.jpg> (consulté le 03/07/2022 à 16:44)
- [25] <https://www.lechodemaskinonge.com/actualites/publireportage/comment-fonctionne-un-systeme-hydraulique-industriel/>
- [26] [https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTRMOZz4c\\_vO3wFN9016WGLcxLoRJ5YW2pnrg&usqp=CAU](https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTRMOZz4c_vO3wFN9016WGLcxLoRJ5YW2pnrg&usqp=CAU) (consulté le 03/03/2022 à 16:55)
- [27] Internet.[www.doc.ac.uk/aric/eae/french/sustainability/older/Rnewable\\_energie.htm](http://www.doc.ac.uk/aric/eae/french/sustainability/older/Rnewable_energie.htm)
- [28] Internet.[http://perso.wanadoo.fr/ageden/geothermie/page\\_accueil1.htm](http://perso.wanadoo.fr/ageden/geothermie/page_accueil1.htm).
- [29] <https://e.educlever.com/img/4/2/8/0/428073.jpg> (consulté le 03/07/2022 à 17:12)
- [30] A.M. Omer, "Ground-source heat pumps systems and applications", *Renew. Sustain. Energy Rev*, vol.12(2), pp. 344-371, 2008,

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2006.10.003>

URL (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032106001249>).

[31] H. Esen, M. Iniali, M. Esen, "Numerical and experimental analysis of a horizontal groundcoupled heat pump system", *Build. Environ.*, vol. 42(3), pp.1126-1134, 2007.<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.11.027>

[32] B.C. Jayashankar, R.L. Sawhney, M.S. Sodha. "Effect of different surface treatments of the surrounding earth on thermal performance of earth-integrated buildings", *Int. J. Energy Res.*, vol. 13, pp. 605-619, 1989, <https://doi.org/10.1002/er.4440130512>

[33] B. Givoni, L. Katz. "Earth temperatures and underground buildings.", *Energy Build.*, vol. 8(1), pp. 15-25, 1985, [http://dx.doi.org/10.1016/0378-7788\(85\)90011-8](http://dx.doi.org/10.1016/0378-7788(85)90011-8)

[34] G. Mihalakakou, M. Santamouris, D. Asimakopoulos, "Modelling the thermal performance of earth-to-air heat exchangers ", *Sol. Energy*, vol. 53(3), pp. 301-305, 1994.[https://doi.org/10.1016/0038-092X\(94\)90636-XURL](https://doi.org/10.1016/0038-092X(94)90636-XURL)

[35] J. Vaz, M.A. Sattler, E.D. dos Santos, L.A. Isoldi. "Experimental and numerical analysis of an earthair heat exchanger", *Energy Build.*, vol. 43(9), pp. 2476-2482, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.06.003>

[36]B. ISSAM, "L'Utilisation de l'énergie thermique pour le chauffage domestique Mémoire de Master en Energétique et environnement ". Université Badji Mokhtar" 2017

[37]<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1a/Champbouillante2.jpg/350px-Champbouillante2.jpg> (consulté le 02/07/2022 à 17:22)

[38] J. Heintz, Les Puits Canadiens / Provençaux : Guide d'information, Centre Technique des Industries Aérauliques et Thermiques (CTIAT), 2008.

URL ([http://www.cetiat.fr/docs/newsdocs/136/doc/guide\\_puits\\_canadiens.pdf](http://www.cetiat.fr/docs/newsdocs/136/doc/guide_puits_canadiens.pdf))

[39] Recherche ECRIN entreprise, " L'électronique de puissance vecteur d'optimisation pour les énergies renouvelables", rapport de synthèse, mai 2002

[40][https://immobilier.creditagricole.fr/var/caeimmo/storage/images/\\_aliases/article\\_full/conseils-immobiliers/environnement/avec-le-chauffage-par-la-biomasse-auxerre-change-d-air/12125-1-fre-FR/Avec-le-chauffage-par-la-biomasse-Auxerre-change-d-air1.png](https://immobilier.creditagricole.fr/var/caeimmo/storage/images/_aliases/article_full/conseils-immobiliers/environnement/avec-le-chauffage-par-la-biomasse-auxerre-change-d-air/12125-1-fre-FR/Avec-le-chauffage-par-la-biomasse-Auxerre-change-d-air1.png)  
(consulté le 03/07/2022 à 17:25)

- [41] [https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQyWjKbmL9ZZUndO\\_54qO5FeSum35j5NUMDDg&usqp=CAU](https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQyWjKbmL9ZZUndO_54qO5FeSum35j5NUMDDg&usqp=CAU) (consulté le 03/07/2022 à 17:27)
- [42] [https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQu9VbjM\\_O51V7gmJYAV6aI\\_ay\\_p6oeltKJQ&usqp=CAU](https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQu9VbjM_O51V7gmJYAV6aI_ay_p6oeltKJQ&usqp=CAU) (consulté le 04/07/2022 à 09:03)
- [43] B. ISSAM, "L'Utilisation de l'énergie thermique pour le chauffage domestique Mémoire de Master en Energétique et environnement ". Université Badji Mokhtar" 2017.
- [44] <http://www.da-engineering.com/wp-content/uploads/2021/05/BI6.png> (consulté le 04/07/2022 à 08:03)
- [45] P. Besse moulin, J. Oliiviéri. Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette. La météorologie 8e série n° 31 septembre (2000), 42-59
- [46] Zakia ,Sen. Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques, Springer 2008
- [47] Bent Sørensen. Renewable energy its physics, engineering, use, environmental impacts, economy and planning aspects. (3rd ed), Elsevier 2004
- [48] <https://www.researchgate.net/profile/MarinaGruet/publication/330823454/figure/fig1/AS:721714069659650@1549081451971/Illustration-de-la-structure-du-Soleil.jpg> (consulter le 04/07/2022 à 08 :13 )
- [49] k. Amara, « Contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance (1MW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension». Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de TIZI-OUZOU (2015).
- [50] J. Graf, « Centrales photovoltaïques », guide pour le dimensionnement et la réalisation de projets, à l'usage des bureaux d'ingénieurs (1996).
- [51] P. Besse moulin, J. Oliiviéri. Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette. La météorologie 8e série n° 31 septembre (2000), 42-59.
- [52] Zekai ,Sen. Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques, Springer 2008.
- [53] <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7b/Tempsunspotco2.svg/220px-Temp-sunspot-co2.svg.png> (consulter le 04/07/2022 à 08 :18 )
- [54] Khadraoui .Z, "Influence des paramètres climatique sur le rayonnement solaire global selon le plan horizontal", Mémoire de master en énergétique. Université Mohamed KHIDER Biskra Juin 2018 ;



- [55]<https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTleNTTGcAvOvcmmjxeO2ivHX6bad0gdonaXA&usqp=CAU> (consulter le 04/07/2022 à 08:22 )
- [56][https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRiayN6WBYm\\_MzLeqVz0V4TygcHhKntFf4hPw&usqp=CAU](https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRiayN6WBYm_MzLeqVz0V4TygcHhKntFf4hPw&usqp=CAU) (consulter le 04/07/2022 à 08:23 )
- [57] M. Salmi, «Contribution à La Quantification De L'irradiation Solaire Globale En Algérie Et Applications Aux Générateurs Photovoltaïques», Thèse de doctorat en Sciences, Université Ferhat Abbas de Sétif (2012).
- [58][https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQi9H37WJ9isjvGoj9Ep3Zoro\\_\\_CmD-pxuB6xMU-pdgG1yT4H0y5iDOl8whL29dU-dEE&usqp=CAU](https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQi9H37WJ9isjvGoj9Ep3Zoro__CmD-pxuB6xMU-pdgG1yT4H0y5iDOl8whL29dU-dEE&usqp=CAU) (consulté le 04/07/2022 à 08:41 )
- [59]<https://www.researchgate.net/profile/MichaelRadunsky/publication/275168262/figure/fig3/AS:414004330680323@1475717732339/Spectre-de-transmission-de-latmosphere-du-visible-a-linfrarouge-avec-les-principales.png> (consulté le 04/07/2022 à 08:37 )
- [60]<https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSVZzIh9vuba7J9aRFZGOKuEJKaV-qyl49DFw&usqp=CAU> (consulté le 04/07/2022 à 08:43)
- [61] Z. Benjellouli « Contribution à la modélisation d'une cellule solaire » mémoire de magistère université de Bechar (2009).
- [62] N. Debili «Etude et optimisation en environnement Matlab/ Simulink d'un système de pompage photovoltaïque ». Mémoire de Magister, Université de Constantine (2015).
- [63]<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRtSuNzAcoHWNK1ht8AcE-ZB1FEXbh549idkQ&usqp=CAU> (consulté le 04/07/2022 à 08:31 )
- [64]<https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQxzS4i8pHZrFbFtjTEsusbgwun4DtGEuBAQA&usqp=CAU> (consulté le 04/07/2022 à 08:35)
- [65] Thèse de doctorat, Présentée à l'école nationale d'ingénieurs de Monastir Ahmed Ridha el ouederni, évaluation du gisement solaire au golfe de tunis – application à la faisabilité d'un mini concentrateur solaire parabolique, année 2016
- [66]<https://www.camerecole.org/classes/426-le-rayonnement-solaire-et-ses-influences-a-la-surface-de-la-terre.html>
- [67]<https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ0DYMcmJg3lFIFtuOCCw2fP4VzjCn1qlJkAg&usqp=CAU> (consulter le 04/07/2022 à 08 :29 )

[68]<http://www.recuperationchaleur.fr/data/userfiles/Technologies/Stockage/Stockage%20de%20l%C3%A9nergie%20graphe%20MCP.png> (consulté le 04/07/2022 à 08 :47)

[69] Y. Jannot, 'Thermique Solaire', 2011. Consulté le 20/03/2022. 81 p., 2022.

<http://www.thermique55.com/principal/thermiquesolaire.pdf> ;

[70] Thèse ; Optimisation de l'irradiation solaire sur le plan des capteurs photovoltaïques à structure porteuse statique, Université Mohamed Boudiaf - M'SILA

## Résumée

La demande croissante en eau dans les zones isolées a conduit à l'utilisation de générateurs photovoltaïques comme source d'énergie.

Notre projet est un système de pompage indépendant qui n'est pas connecté au réseau électrique, c'est-à-dire que le courant électrique est généré par le système photovoltaïque indépendant (panneaux PV) d'une pompe immergée d'une rivière à un réservoir, puis modélisation Simulation par PVsyst.

## Abstract

The growing demand for water in isolated areas has led to the use of photovoltaic generators as a source of energy. Our project is an independent pumping system that is not connected to the electricity grid, that is, the electric current is generated by the independent photovoltaic system (PV panels) of a submerged pump from a river to a reservoir, then modeling Simulation by PVsyst.

## ملخص

أدى الطلب المتزايد على المياه في المناطق المعزولة إلى استخدام المولدات الكهروضوئية كمصدر للطاقة. مشروعنا عبارة عن نظام ضخ مستقل غير متصل بشبكة الكهرباء، أي أن التيار الكهربائي يتم إنشاؤه بواسطة النظام الكهروضوئي المستقل (الألواح الكهروضوئية) لمضخة مغمورة من نهر إلى خزان، ومن ثم النمذجة والمحاكاة بواسطة برنامج PVsyst