

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A.MIRA-BEJAIA



Faculté de Technologie
Département Génie Electrique

Projet de Fin d'Etude

Pour l'obtention du diplôme de Master en Electromécanique

Thème

**Réalisation d'une interface web pour le
dimensionnement des installations photovoltaïques
autonomes**

Préparé par :

BENMEZIANE Yanis
BOURENANE Zakaria

Spécialité :

Electromécanique

Dirigé par :

Mr R.BABOURI

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciements

Avant tout nous tenons nos remerciements à notre Dieu de nous avoir donné la force et le courage de mener à terme ce modeste travail.

A la suite nous remercions très sincèrement Mr R.BABOURI notre promoteur, pour ses conseils pertinents, ses orientations judicieuses, sa patience et aussi pour ses suggestions qui nous ont grandement facilité le travail.

Nous tenons à exprimer notre gratitude aux membres de jury qui ont bien voulu examiner notre travail.

Nous tenons également à remercier tous les enseignants, en particulier Mr F.TAZERART pour son aide et tous ceux à qui nous devons notre formation.

Nous remercions vivement toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin, à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :
Mon père et ma mère pour
leurs soutiens et leurs sacrifices,
qui ont sacrifié leur vie
pour ma réussite
et m'ont éclairé le chemin par leurs
conseils judicieux, que Dieu leur
procure une longue vie pleine de
bonheur.

Mon frère
Mes grands-parents
Mes oncles et tantes
Mes cousins, Mes proches,
Mes amis et collègues.

Zakaria

Dédicaces



Je dédie ce modeste travail à :
Mes deux parents, c'est grâce à eux
que j'ai pu arriver là où j'en suis
actuellement.

Ma réussite est le fruit de leurs
soutiens et sacrifices durant toute leur
vie, je ne pourrai jamais les remercier
assez.



Mes frères et sœurs pour leurs
précieux conseils.

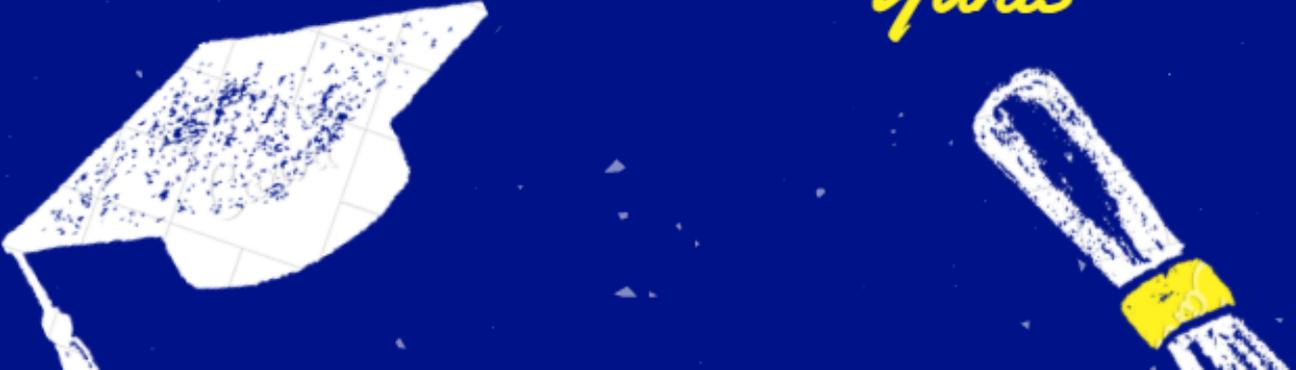
Mes cousins et cousines.

Mes ami(e)s, qui sont ma deuxième
famille autant qu'ils sont.

Mes collègues, avec qui j'ai pu
partager cette expérience durant tout ce
parcours.



Yanis



SOMMAIRE

Table des matières

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

I.1. Introduction..... 2

I.2. L'énergie solaire 3

I.3. Rayonnement solaire..... 3

I.4. Notions préliminaires sur le rayonnement solaire 4

 I.4.1. Rayonnement direct..... 4

 I.4.2. Rayonnement diffus 4

 I.4.3. Rayonnement réfléchi 4

 I.4.4. Rayonnement global..... 4

I.5. L'effet photovoltaïque 4

I.6. Cellule photovoltaïque 6

 I.6.1. Principe de fonctionnement..... 7

 I.6.2. Les différents types de cellules photovoltaïques 8

 I.6.3. Circuit équivalent et modèle mathématique..... 9

I.7. Générateur photovoltaïque..... 10

 I.7.1. Paramètres photovoltaïques..... 10

 I.7.2. Les zones de caractéristique I(V) d'un générateur photovoltaïque..... 12

 I.7.3. La caractéristique P(V) d'un générateur photovoltaïque 13

I.8. Module photovoltaïque 14

 I.8.1. Les paramètres influents sur les modules photovoltaïque..... 14

I.9. Champ photovoltaïque 18

I.10. Avantages et inconvénients d'une installation PV..... 19

 I.10.1 Avantages 19

 I.10.2 Inconvénients 19

I.11. Conclusion 20

Chapitre II : Dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome

II.1. Introduction..... 21

II.2. Système photovoltaïque..... 21

II.2.1. Notions relatives à un système photovoltaïque	21
II.2.2. Critères de choix d'une installation solaire	22
II.2.3. Différents types des systèmes photovoltaïques	22
II.3. Dimensionnement d'une installation PV	28
II.3.1. Paramètres d'entrée intervenants dans le dimensionnement	28
II.3.2. L'angle d'inclinaison des panneaux	30
II.3.3. L'orientation des panneaux	30
II.4. Méthodes de dimensionnement d'un système PV	31
II.4.1. Méthode de la probabilité d'erreur dans la consommation	31
II.4.2. Méthode de la moyenne annuelle	31
II.4.4. Méthode des heures équivalentes	32
II.4.5. Méthode itérative	32
II.4.6. Méthode utilisabilité solaire	34
II.4.7. Méthode simplifiée	35
II.5. Conclusion	39

Chapitre III : Réalisation d'une interface web pour dimensionner les systèmes photovoltaïques autonomes

III.1. Introduction	40
III.2. Le Web	40
III.3. Outils informatiques utilisés	41
III.3.1. HTML	41
III.3.2. CSS	42
III.3.3. Bootstrap	44
III.3.4. JavaScript	44
III.3.5. Les API	45
III.4. Présentation de l'interface	48
III.5. Principe de fonctionnement de l'interface	51
III.6. Conclusion	55
Conclusion générale	56
Références bibliographiques	57

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

Figure (I.1):.....	2
Figure (I.2):.....	7
Figure (I.3):.....	8
Figure (I.4):.....	9
Figure (I.5):.....	10
Figure (I.6):.....	13
Figure (I.7):.....	13
Figure (I.8):.....	14
Figure (I.9):.....	15
Figure (I.10):.....	16
Figure (I.11):.....	16
Figure (I.12):.....	17
Figure (I.13):.....	18
Figure (I.14):.....	18
Figure (I.15):.....	19
Figure (I.16):.....	19

Chapitre II : Dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome

Figure (II.1) :23
Figure (II.2) :24
Figure (II.3) :25
Figure (II.4) :26
Figure (II.5) :27

Chapitre III : Réalisation d’une interface web pour dimensionner les systèmes photovoltaïques autonomes

Figure (III.1) :41
Figure (III.2) :42
Figure (III.3) :43
Figure (III.4) :44
Figure (III.5) :45
Figure(III.6) :46
Figure(III.7) :47
Figure(III.8) :47
Figure(III.9) :48
Figure(III.10) :49
Figure(III.11) :50
Figure(III.12) :51
Figure(III.13) :51
Figure(III.14) :51
Figure(III.15) :52

Liste des tableaux

Tableau (I.1) :.....	5
Tableau (II.1) :.....	30
Tableau (III.1) :.....	51

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'exploitation des ressources naturelles fossiles limitées et épuisables dans le temps poussent les pays développés et émergents à se retenir vers des énergies propres et renouvelables tels que le solaire, la géothermie, la biomasse et l'énergie éolienne.

L'énergie électrique produite par des systèmes photovoltaïques est considérée comme solution efficace pour le problème de l'énergie, ces systèmes peuvent ainsi alimenter de petits équipements portables (montres, calculatrices...etc), des applications en site isolé (habitations éloignées du réseau électrique, équipements de télécommunication, électrification rurale...etc), ou être raccordées au réseau électrique.

L'installation d'un système photovoltaïque nécessite tout d'abord son dimensionnement pour lequel il faut calculer à combien s'élève les besoins énergétiques que nous comptons satisfaire et calculer par la suite la puissance du champ photovoltaïque satisfaisant ces besoins énergétiques, ainsi que la capacité des batteries pour assurer un fonctionnement autonome du réseau si c'est le but de l'installation.

D'autre part l'informatique est devenue un outil intéressant pour régler et donner des solutions simples et abordables par tout le monde, c'est pour cela la programmation est inventée, si on prend par exemple le dimensionnement des installations photovoltaïques cette tâche est exigeante en terme économique, en effort et en temps.

D'où nous avons opté d'aller au long de notre travail et à l'aide des langages informatiques de réaliser une interface web qui propose de dimensionner des installations photovoltaïques autonomes d'une manière simplifiée pour qu'elle soit à la disposition de chaque particulier partout dans le monde

Après une brève introduction situant le sujet et les objectifs de ce travail, trois chapitres y sont consacrés dont le premier mettra en évidence les généralités sur l'énergie et système photovoltaïque, le deuxième parlera des méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome, le troisième chapitre, décrira l'interface web réalisée avec les différents outils informatiques ainsi que son principe de fonctionnement et on termine ce mémoire par une conclusion générale sur notre travail et donner des améliorations prévues à ajouter prochainement.

CHAPITRE I :
GENERALITES SUR
LES SYSTEMES
PHOTOVOLTAIQUES

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

I.1. Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule. L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donnent lieu à un générateur photovoltaïque (GPV) qui a une caractéristique courant-tension (I-V) non linéaire présentant un point de puissance maximale [1]. La figure (I.1) représente le principe de fonctionnement :

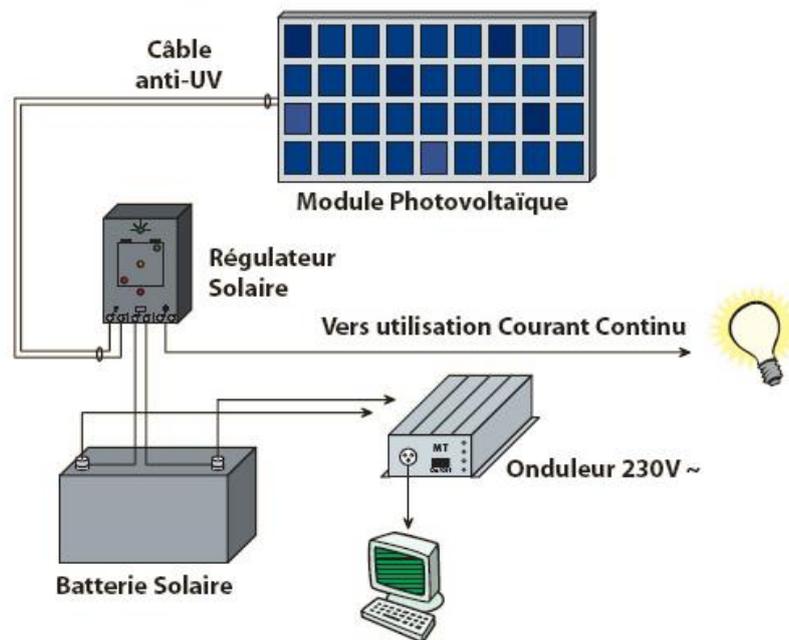


Figure (I.1) : Schéma de principe d'un générateur photovoltaïque.

Dans ce chapitre, nous allons commencer par la définition de l'énergie solaire puis la constitution des cellules photovoltaïques et leur effet ainsi le principe de fonctionnement. Puis nous présentons les différents types des cellules photovoltaïques.

Enfin les principales caractéristiques d'un module photovoltaïque.

I.2. L'énergie solaire

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (KWc/m^2) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge.

Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année. L'énergie solaire est produite et utilisée selon plusieurs procédés :

- L'énergie solaire thermique : qui consiste tout simplement à produire de la chaleur grâce à des panneaux sombres. On peut aussi produire avec de la vapeur à partir de la chaleur du soleil puis convertir la vapeur en électricité.
- L'énergie solaire photovoltaïque : qui consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière à l'aide de panneaux solaires photovoltaïque. 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 [3].

I.3. Rayonnement solaire

Le soleil est une étoile parmi tant d'autres. Il a un diamètre de 1390000 km, soit environ 50 fois celui de la terre. Il est composé à 80% d'hydrogène, 19% d'hélium et 1% d'un mélange de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus depuis que Langevin et Perrin, s'appuyant sur la théorie de la relativité d'Einstein, ont émis l'idée il y a une centaine d'années que c'est l'énergie de fusion nucléaire qui fournit au soleil sa puissance, il est aujourd'hui admis que le soleil est une bombe thermonucléaire hydrogène – hélium transformant chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions tonnes d'hélium, la réaction se faisant dans son noyau à la température d'environ 25 millions de degrés Celsius. Ainsi, à chaque seconde, le soleil est allégé de 4 millions de tonnes dispersées sous forme de rayonnement [4].

Sa lumière, à une vitesse de 300000 km/s, met environ 8 minutes pour parvenir à la terre, sa distribution spectrale dans l'atmosphère est maximale pour une longueur d'onde d'environ $0.5\mu\text{m}$, la température de corps noir à la surface du soleil est d'environ 5780°K [4]

:

- ❖ Diamètre de soleil $D_s = 1.39.10^9 \text{m}$
- ❖ Diamètre de la terre $D_t = 1.27.10^7 \text{m}$
- ❖ Distance moyenne soleil-terre $L_{ts} = 1.5.10^{11} \text{m}$

I.4. Notions préliminaires sur le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est constitué de photons dont la longueur d'onde s'étend de l'ultraviolet ($0.2\mu\text{m}$) à l'infrarouge lointain ($2.5\mu\text{m}$). On utilise la notion AM pour Air Mass afin de caractériser le spectre solaire en termes d'énergie émise. Pour tenir compte de la distance traversée par les rayons, il est nécessaire d'introduire une notion de masse d'air (AM) elle correspond à la longueur relative du parcours à travers l'atmosphère terrestre traversée par le rayonnement solaire direct. Au niveau du sol le rayonnement global reçu par une surface plane d'inclinaison quelconque est constitué de trois composantes principales [3] :

I.4.1. Rayonnement direct

Flux solaire sous forme de rayons parallèles provenant de disque soleil sans avoir été dispersé par l'atmosphère [3].

I.4.2. Rayonnement diffus

C'est la partie du rayonnement provenant du soleil, ayant subi multiples réflexions (dispersions), dans l'atmosphère [3].

I.4.3. Rayonnement réfléchi

C'est la partie de l'éclairement solaire réfléchi par le sol, ce rayonnement dépend directement de la nature du sol (nuage, sable...). Il se caractérise par un coefficient propre de la nature de lien appelé Albédo (s) $0 \leq s \leq 1$ [3].

I.4.4. Rayonnement global

Un plan reçoit de la part du soleil un rayonnement global qui est le résultat de la superposition des trois compositions direct, diffus et réfléchi [3].

I.5. L'effet photovoltaïque

Le terme photovoltaïque est formé à partir de deux mots :

- ❖ « Phots », qui signifient lumière.
- ❖ « Volta », du nom du physicien Alessandro Volta (1745-1827, inventeur de la pile électrique).

Appelé aussi « module photovoltaïque » ou PV, c'est un panneau solaire qui est destiné à récupérer les rayonnements du soleil pour les transformer en électricité (Courant continu DC). L'effet photovoltaïque constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique au moyen de cellules généralement à base de silicium. Pour obtenir une puissance suffisante, les cellules sont reliées entre elles et constituent le module solaire [5].

L'ensemble de panneaux photovoltaïques interconnectés forme le générateur. Celui-ci est caractérisé par sa puissance crête exprimée en kilowatt crête (kWc) [6]. Le Tableau (I.1) résume les événements importants de l'histoire du photovoltaïque [3].

1839	Le physicien français Edmond Becquerel découvre l'effet photovoltaïque
1883	Fritts réalise des cellules solaires de grande surface à base de Se
1954	Des rendements de 6% sont obtenus : Si (Bell Lab, USA) and Cu ₂ S/CdS (Air Force, USA)
1955	Hoffman électroniques (USA) propose des cellules Si à 2 % de rendement à \$1500/W
1958	Kearns et Calvin ont démontré l'effet photovoltaïque d'une cellule à base de MgPh
1970	Première cellule solaire à hétérostructures GaAs élaborée par Alferov, Andrée et al. En URSS
1973	Première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'université Delaware, USA ; à base de Cu ₂ S
1980	La première cellule à base de Cu ₂ S/CdS délivrant un rendement > 10%
1982	Première unité de production de 1 MW (Californie, USA) avec des cellules Arco Si
1985	Les cellules à base de Si donnent un rendement > 20% sous le rayonnement solaire
1994	Des rendements > 30 % avec des cellules à concentration multi jonctions à base de GaInP/GaAs (NREL, USA)
1996	Les cellules solaires hybrides à colorants atteignent un rendement de 11% (EPFL, Switzerland)
1998	Cellules couches minces Cu(InGa) Se ₂ atteignent un rendement de 19% (NREL, US)
2002	Le photovoltaïque installé mondial cumulatif atteint 2000 MW

2007	Cellules solaires organiques en structure tandem avec un rendement de 6,5 % (UCSB, USA)
2008	Un rendement homologué de 5,9% sur une surface active de 2 cm ² obtenu par Heliatek, BASF et l'Institut de photovoltaïque appliquée (IAPP) de l'Université technique de Dresde (Allemagne)
2009	Cellule de polymère à simple jonction avec un rendement de 6,1 % à base de PCDTBT et PC70BM (UCSB, USA) Cellule de polymère à simple jonction avec un rendement de 7,4 % à base de PBDTTT-CF et PC70BM (Solarmer Energy Inc, Université de California et de Chicago, USA)
2011	Cellules en couches minces Cu(In,Ga)Se ₂ atteignent un rendement de 20,3 % (Baden Wuerttemberg, Allemagne)

Tab (I.1) : Evénements notables dans l'histoire du photovoltaïques.

I.6. Cellule photovoltaïque

La cellule PV ou encore photopile est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique. Les cellules photovoltaïques sont constituées :

- D'une fine couche semi-conductrice (matériau possédant une bande interdite, qui joue le rôle de barrière d'énergie que les électrons ne peuvent franchir sans une excitation extérieure, et dont il est possible de faire varier les propriétés électroniques) tel que le silicium, qui est un matériau présentant une conductivité électrique relativement bonne.
- D'une couche anti-reflet permettant une pénétration maximale des rayons solaires.
- D'une grille conductrice sur le dessus ou cathode et d'un métal conducteur sur le dessous ou anode.
- Les plus récentes possèdent même une nouvelle combinaison de multicouches réfléchissants justes en dessous du semi-conducteur, permettant à la lumière de rebondir plus longtemps dans celui-ci pour améliorer le rendement.

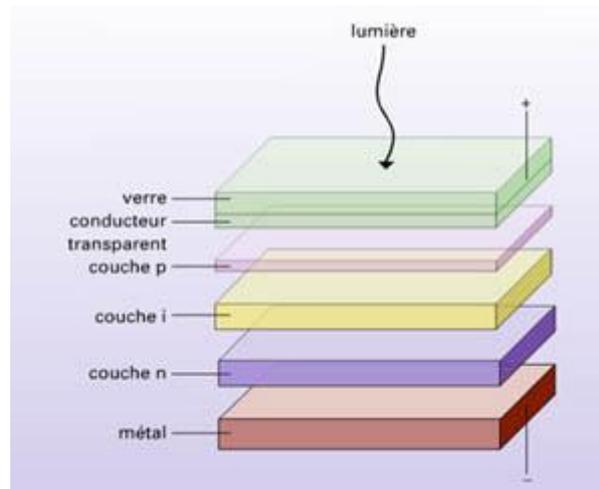


Figure (I.2) : Structure basique d'une cellule solaire.

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température et du vieillissement de la cellule [4].

I.6.1. Principe de fonctionnement

Il existe différentes techniques permettant la conversion directe de la lumière solaire en électricité, la plus connue est la conversion photovoltaïque effectuée à l'aide de matériaux semi-conducteurs tel que le silicium (Si), le germanium (Ge), le sélénium (Se) ou les composés semi-conducteurs tel que l'arséniure de gallium (GaAs), le tellurure de cadmium (CdTe). Les cellules solaires de type GaAs sont très coûteuses dans leur fabrication, leur utilisation est aujourd'hui essentiellement limitée aux applications spatiales. La majorité des cellules photovoltaïques sont fabriquées à partir du silicium cristallin, car il possède la caractéristique d'être non toxique contrairement au cadmium ou au sélénium, en plus, il permet d'atteindre des efficacités de conversion remarquables, il constitue environ 28% de l'écorce terrestre sous forme de composés (silicates, silice), ce qui en fait une source quasi inépuisable.

La cellule solaire à semi-conducteur est un dispositif permettant de débiter un courant électrique dans une charge externe lorsque celui-ci est exposé à la lumière. Son principe de fonctionnement se résume comme suit :

Lorsque la cellule est exposée au rayonnement solaire, les photons d'énergie ($E_{ph} = h \cdot \nu$) pénétrant dans la cellule solaire transmettent leur énergie aux atomes de la jonction. Si cette énergie est suffisamment élevée, elle peut faire passer les électrons de la bande de valence à la bande de conduction du matériau semi-conducteur et créer ainsi des paires « électron- trou ».

Les électrons (charges N) et les trous (charges P), sont alors maintenus séparés par un champ électrique qui constitue une barrière de potentiel.

Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone N rejoignent les trous de la zone P via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel et un courant électrique circule. Figure (I.3) [7].

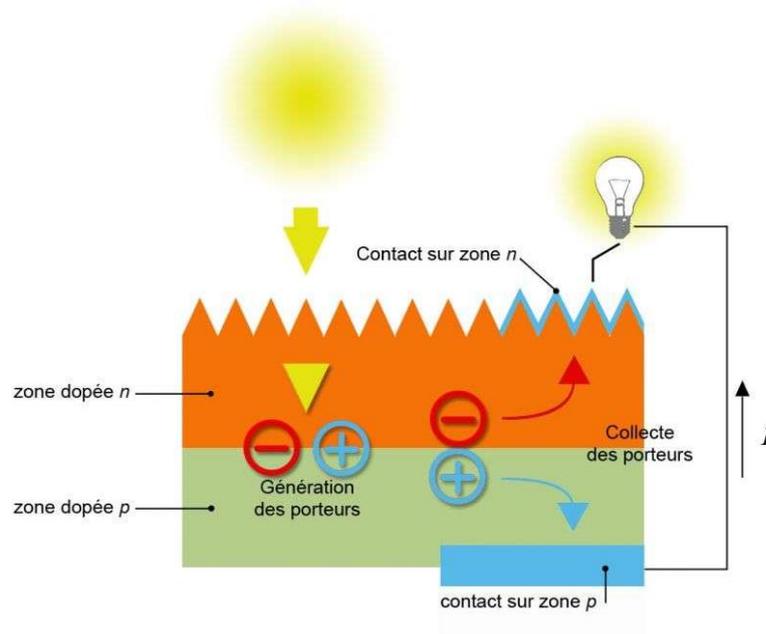


Figure (I.3) : Le principe de fonctionnement d'une cellule solaire.

Les cellules les plus répandus actuellement sont à base de silicium (différence de potentiel de 0.6 V) [7].

I.6.2. Les différents types de cellules photovoltaïques

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par un rendement et un coût qui lui sont propres. Cependant, quel que soit le type, le rendement reste assez faible : entre 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent.

Actuellement, il existe trois principaux types de cellules [6] :

a. Les cellules monocristallines

Elles ont le meilleur rendement (de 12 à 18% voir jusqu'à 24% en laboratoire) Cependant, elles coûtent trop chères dues à leur fabrication complexe.

b. Les cellules poly cristallines

Leur conception est plus facile et leur coût de fabrication est moins important. Cependant leur rendement est plus faible (de 11% à 15% voir jusqu'à 19.8 en laboratoire).

c. Les cellules amorphes (couche mince)

Elles ont un faible rendement (de 5% à 8% voir jusqu'à 13% en laboratoire), mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation tels que des calculatrices solaires ou encore des montres.

L'avantage de ce dernier type est le fonctionnement avec un éclairage faible (même par temps couvert ou à l'intérieur d'un bâtiment).

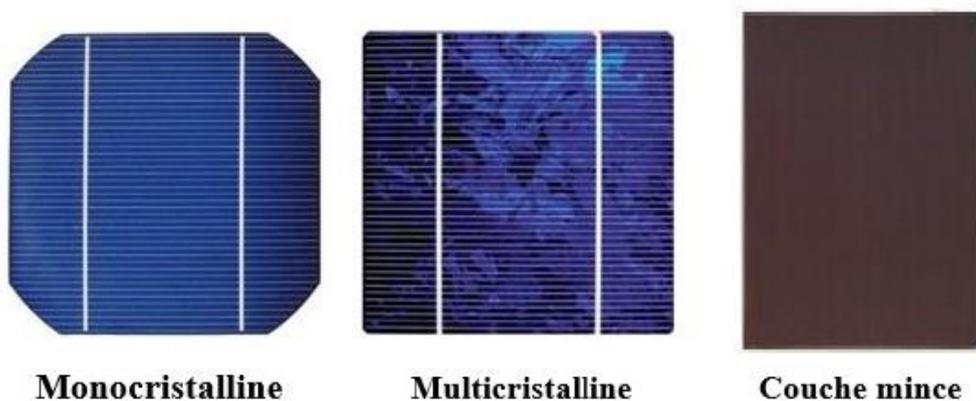


Figure (I.4) : Différent type des cellules photovoltaïques.

I.6.3. Circuit équivalent et modèle mathématique

La figure (I.4) présente le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque. Il correspond à un générateur de courant I monté en parallèle avec une diode. Deux résistances parasites sont introduites dans ce schéma. Ces résistances ont une certaine influence sur la caractéristique $I = f(V)$ de la cellule [1] :

- La résistance série R_{ser} est la résistance interne de la cellule : elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de

contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles.

- La résistance shunt R_{shu} est due à un courant de fuite au niveau de la jonction ; elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée.

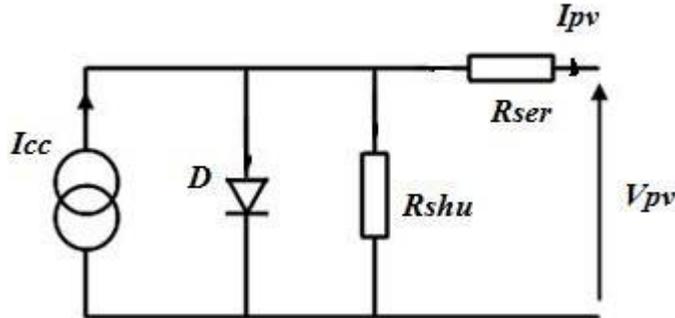


Figure (I.5) : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.

Le modèle mathématique pour la caractéristique courant-tension d'une cellule PV est donné par [8] :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{sat} \left[\exp \left(\frac{e(V_{pv} + I_{pv} \cdot R_{ser})}{nKT} \right) - 1 \right] - \frac{V_{pv} + I_{pv} \cdot R_{ser}}{R_{shu}} \quad (I.1)$$

Où I_{sat} est le courant de saturation, K est la constante de Boltzmann ($1,381 \cdot 10^{-23}$ J/K), T est la température effective des cellules en Kelvin(K), e est la charge de l'électron ($e=1,6 \cdot 10^{-19}$ C), n est le facteur d'idéalité de la jonction ($1 < n < 3$), lorsqu'elle fonctionne en générateur, V_{pv} est la tension aux bornes de cette même cellule, I_{ph} est le photo-courant de la cellule dépendant de l'éclairement et de la température ou bien courant de (court-circuit), R_{shu} est la résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction, R_{ser} est la résistance série représentant les diverses résistances de contacts et de connexions.

I.7. Générateur photovoltaïque

Le terme générateur photovoltaïque GPV est utilisé pour désigner, selon l'application considérée, un module ou un panneau PV. Toutefois, il peut faire allusion au système PV tout entier. Pour la suite de ce document, on utilisera le terme GPV pour désigner un module ou un panneau PV [9].

I.7.1. Paramètres photovoltaïques

Ces paramètres sont caractérisés par ceux des modules constituant le champ PV [8]

:

I.7.1.1. Courant de court-circuit I_{cc}

C'est le courant pour lequel la tension aux bornes de la cellule ou du générateur PV est nul. Dans le cas idéal (R_{ser} nulle et R_{shu} infinie), ce courant se confond avec le photocourant I_{ph} dans le cas contraire, en annulant la tension V_{pv} dans l'équation (I.1), on obtient :

$$I_{cc} = I_{ph} - I_{sat} \left[\exp\left(\frac{e \cdot I_{cc} \cdot R_{ser}}{nKT}\right) - 1 \right] - \frac{I_{cc} \cdot R_{ser}}{R_{shu}} \quad (\text{I.2})$$

Pour la plupart des cellules (dont la résistance série est faible), on peut négliger le terme $I_{sat} \left[\exp\left(\frac{e \cdot I_{cc} \cdot R_{ser}}{nKT}\right) - 1 \right]$ devant I_{ph} . L'expression approchée du courant de court-circuit est alors :

$$I_{cc} \cong \frac{I_{ph}}{1 + \frac{R_{ser}}{R_{shu}}} \quad (\text{I.3})$$

Quantitativement, il a la plus grande valeur du courant généré par la cellule (pratiquement $I_{cc} = I_{ph}$).

I.7.1.2. Tension en circuit ouvert V_{co}

C'est la tension V_{co} pour laquelle le courant débité par le générateur photovoltaïque est nul. (C'est la tension maximale d'une photopile ou d'un générateur photovoltaïque).

$$0 = I_{ph} - I_{sat} \left[\exp\left(\frac{e \cdot V_{pv}}{nKT}\right) - 1 \right] - \frac{V_{pv}}{R_{shu}} \quad (\text{I.4})$$

Dans le cas idéal, sa valeur est légèrement inférieure à :

$$V_{co} = V_T \ln \left[\frac{I_{ph}}{I_{sat}} + 1 \right] \quad (\text{I.5})$$

I.7.1.3. Point de puissance maximale P_m

L'utilisation optimale d'une photopile consiste à faire fonctionner une charge sous la tension maximale et à un courant maximal. En effet, suivant la formule $P = V \cdot I$, pour que P soit maximal : il faut être dans les conditions où le produit $V \cdot I$ est maximale, c'est le point de charge idéal de la photopile, ou point de puissance maximale P_m .

$$P_m = I_{opt} \cdot V_{opt} \quad (\text{I.6})$$

I.7.1.4. Facteur de forme FF

Le facteur de forme représente l'efficacité de la cellule, il peut nous renseigner sur le vieillissement de la cellule. C'est le rapport entre la puissance maximale que peut fournir

une cellule et la puissance qu'il est théoriquement possible d'obtenir (puissance optimale).

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{cc} \cdot V_{co}} = \frac{I_{opt} \cdot V_{opt}}{I_{cc} \cdot V_{co}} \quad (I.7)$$

I.7.1.5. Rendement énergétique η

Le rendement de conversion d'énergie est le rapport de la puissance générée et de la puissance du rayonnement solaire incident P_i . On appelle rendement rapport de la puissance maximale fournie (P_{max}) sur la puissance du rayonnement solaire incident P_i :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_i} = \frac{I_{opt} \cdot V_{opt}}{\phi \cdot S} \quad (I.8)$$

S : Surface de la cellule solaire.

ϕ : Flux incident.

I.7.2. Les zones de caractéristique I(V) d'un générateur photovoltaïque

La caractéristique fondamentale du générateur photovoltaïque donnée pour un éclairement et une température donnée, n'impose ni le courant ni la tension de fonctionnement, seule la courbe $I = f(V)$ est fixée. C'est la valeur de la charge aux bornes du générateur qui va déterminer le point de fonctionnement du système photovoltaïque. La figure (I.6) représente trois zones essentielles [7] :

a) La zone (1) : où le courant reste constant quelle que soit la tension, pour cette région, Le générateur photovoltaïque fonctionne comme un générateur de courant.

b) La zone (2) : correspondant au code de la caractéristique, la région intermédiaire Entre les deux zones précédentes, représente la région préférée pour le fonctionnement du générateur, où le point optimal (caractérisé par une puissance maximale) peut être déterminé.

c) La zone (3) : qui se distingue par une variation de courant correspondant à une Tension presque constante, dans ce cas le générateur est assimilable à un générateur de tension.

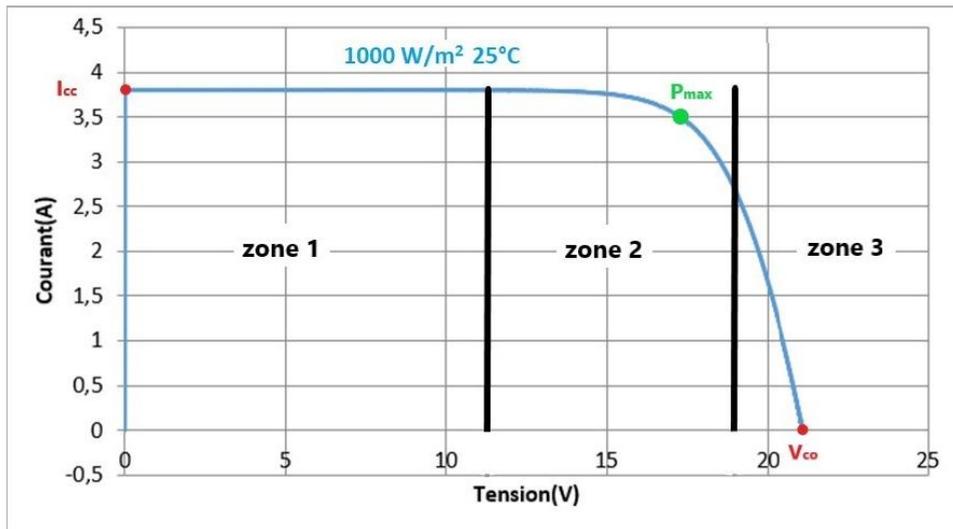


Figure (I.6) : Les différentes zones de Caractéristique $I(V)$ entre générateur et module PV.

I.7.3. La caractéristique $P(V)$ d'un générateur photovoltaïque

La puissance délivrée par la cellule a pour expression $P = V.I$. Pour chaque point de la courbe précédente, on peut calculer la puissance P et tracer la courbe $P = f(V)$. Cette courbe a l'allure suivante :

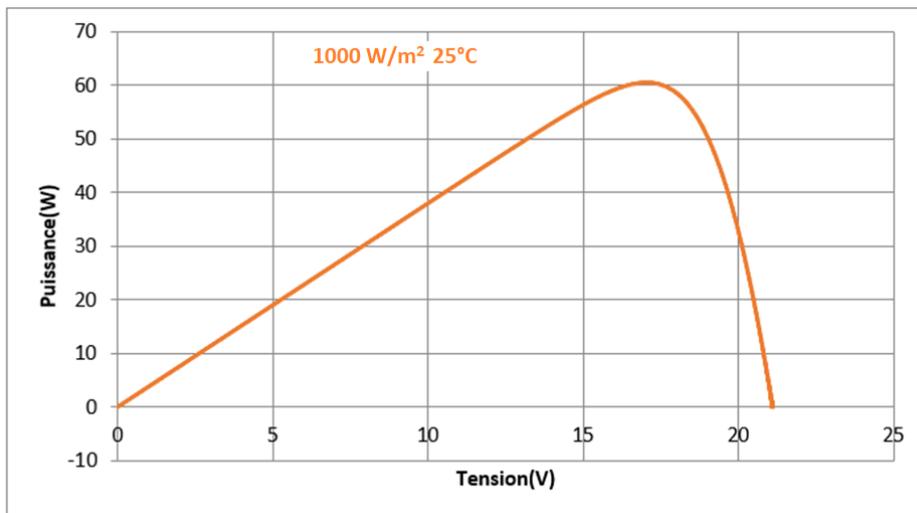


Figure (I.7) : Caractéristique $P(V)$ d'un générateur ou module PV.

Cette courbe passe par un maximum de puissance P_m . A cette puissance correspond, une tension V_{pm} et un courant I_{pm} que l'on peut aussi repérer sur la courbe $I = f(V)$.

Il y a un compromis entre la tension et la courant du panneau pour avoir une puissance maximale.

I.8. Module photovoltaïque

La cellule photovoltaïque élémentaire constitue un générateur de très faible puissance vis-à-vis des besoins de la plupart des applications domestiques ou industrielles. Une cellule élémentaire de quelques dizaines de centimètres carrés, délivre au maximum, quelques watts sous une tension inférieure au volt (tension de jonction PN). Pour produire plus de puissance, plusieurs cellules doivent être assemblées afin de créer un module ou un panneau photovoltaïque. En effet, les modules PV sont composés d'un ensemble de cellules mises en série, réalisant la conversion proprement dite de la lumière du soleil en électricité. Ils sont eux-mêmes associés en série et parallèle pour former un champ photovoltaïque d'une puissance crête définie selon des conditions spécifiques d'éclairement, de température et de spectre solaire. La plupart des modules commercialisés sont constitués de deux à quatre réseaux de cellules en silicium cristallins connectés en série [3].

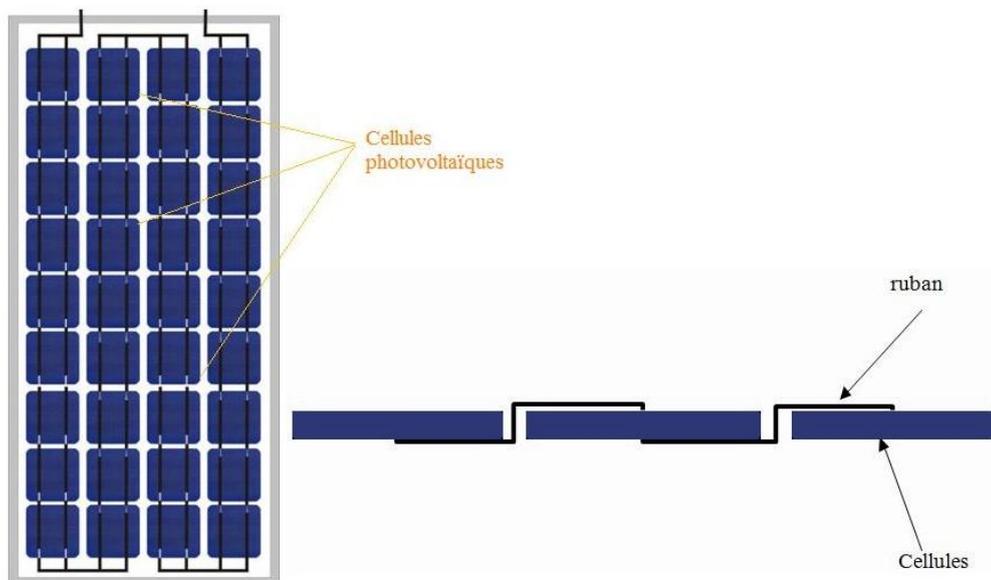


Figure (I.8) : Câblage des cellules dans un module PV.

Les modules photovoltaïques assurent les fonctions suivantes :

- Protection des cellules contre les agents atmosphériques.
- Protection mécanique et support.
- Connexion électrique entre cellules et avec l'extérieur [3].

I.8.1. Paramètres Influent sur les modules photovoltaïques

I.8.1.1. Influence de l'Éclairement

Les figures (I.9) et (I.10) présentent un exemple des courbes pour différents niveaux de rayonnement :

Nous avons fixé la température pour différents éclairagements.

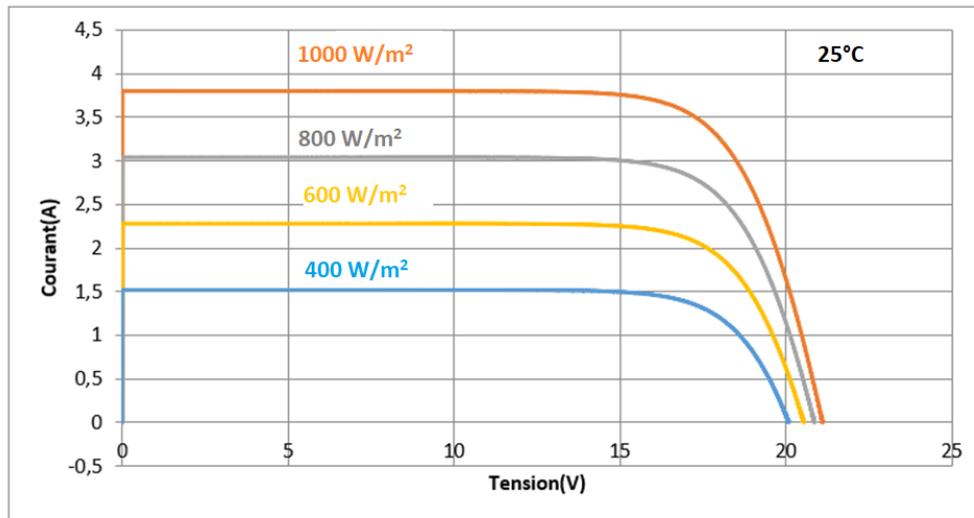


Figure (I.9) : La caractéristique $I=f(V)$ en fonction de l'éclairement [11].

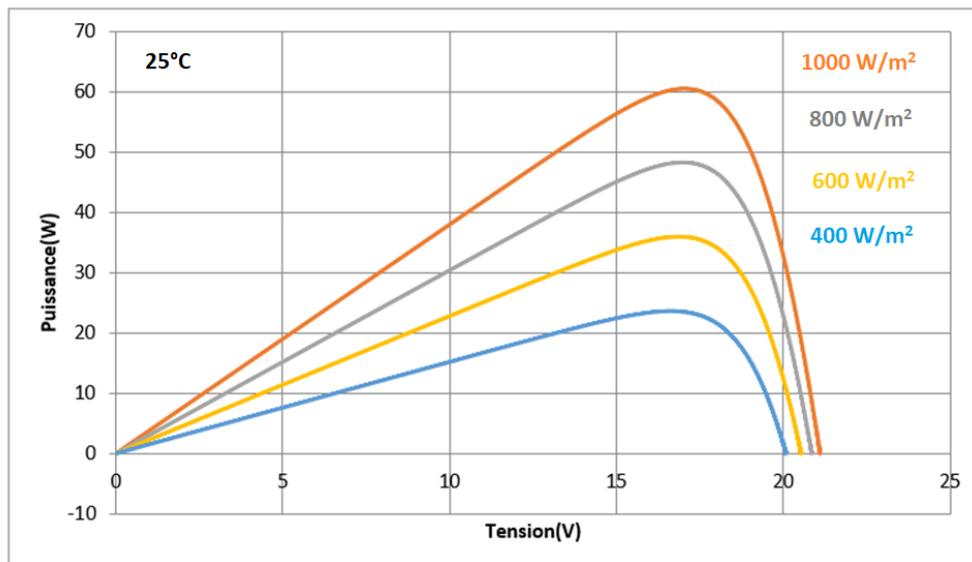


Figure (I.10) : La caractéristique $P=f(V)$ en fonction de l'éclairement [11].

Pour la figure (1.9) on remarque que pour l'éclairement $G=1000\text{w/m}^2$ le courant $I_{sc}=3.8\text{A}$ et pour $G=800\text{w/m}^2$ le courant $I_{sc}=3\text{A}$ on peut voir que le courant subit une variation importante, quand l'éclairement augmente le courant de court-circuit augmente, mais par contre la tension varie légèrement.

I.8.1.2. Influence de la Température

Nous présentons ci-dessous les caractéristiques I-V et P-V figure (I.11) et (I.12) d'un module photovoltaïque pour un niveau d'ensoleillement G donné et pour différentes températures.

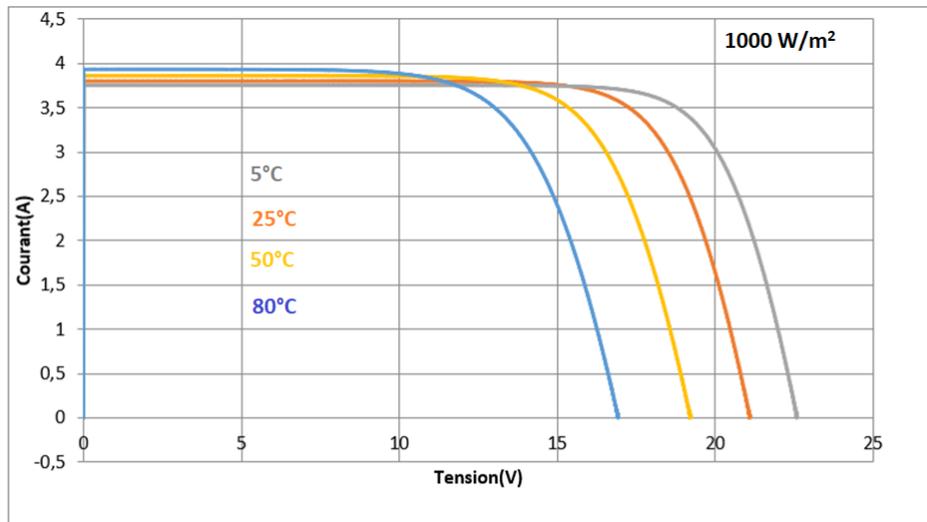


Figure (I.11) : La caractéristique de $I=f(V)$ en fonction de température [11].

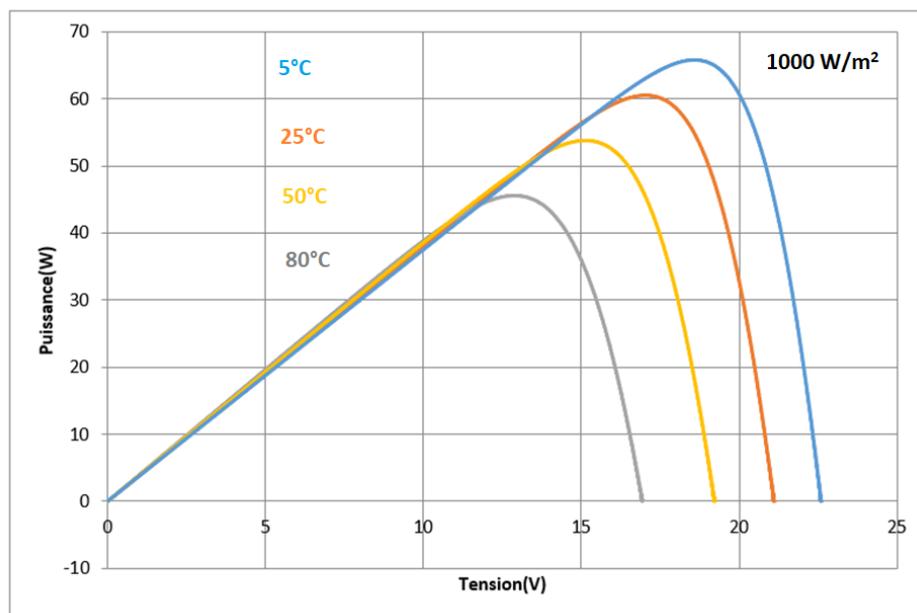


Figure (I.12) : La caractéristique de $P=f(V)$ en fonction de température [11].

Pour la figure (I.11) nous remarquons que le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, on constate que la température influence négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Et par contre la puissance maximale du générateur subit une diminution lorsque la température augmente figure (I.12).

I.8.1.3. Influence de l'association série des cellules PV

La cellule individuelle, unité de base d'un système photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 0.5 W avec une tension de moins d'un volt. Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module (ou panneau).

Un module de 36 cellules en série (Type GTO136 - 80/2) est suffisant pour obtenir une tension compatible avec la charge. Pour avoir plus de tension, il faut assembler N_s modules en série, par contre pour le courant généré, un nombre N_p de modules en parallèle permet d'en ajouter, les diodes de protection série et parallèles protègent le circuit contre le retour de courant. L'association en série des cellules délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule [8].

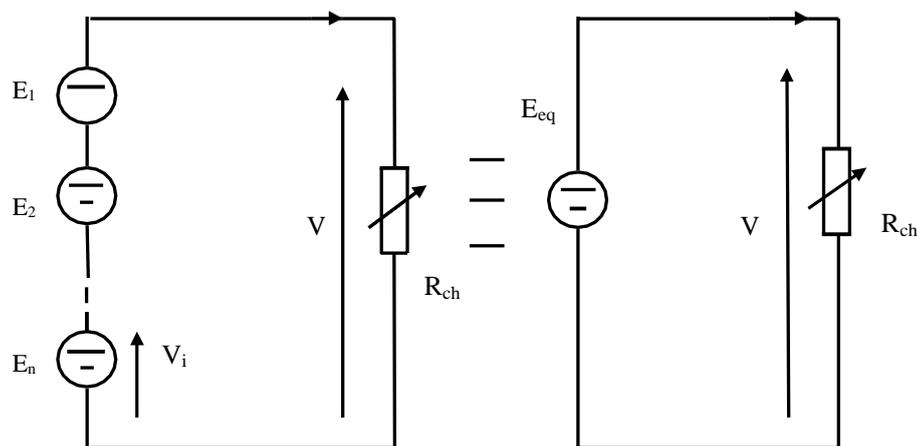


Figure (I.13) : Association de N_s modules solaires en série

I.8.1.4. Influence de l'association parallèle des cellules PV

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

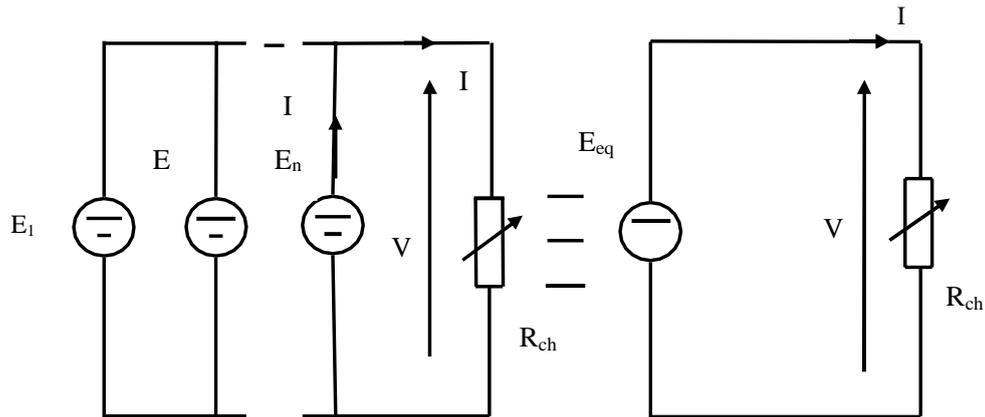


Figure (I.14) : Association de N_p modules solaires en parallèle.

I.8.1.5. Influence de l'association mixte (Série +Parallèle) des cellules PV

Pour avoir une satisfaction en courant et en tension, on est obligé d'utiliser un groupement mixte, c'est-à-dire Série-Parallèle [8].

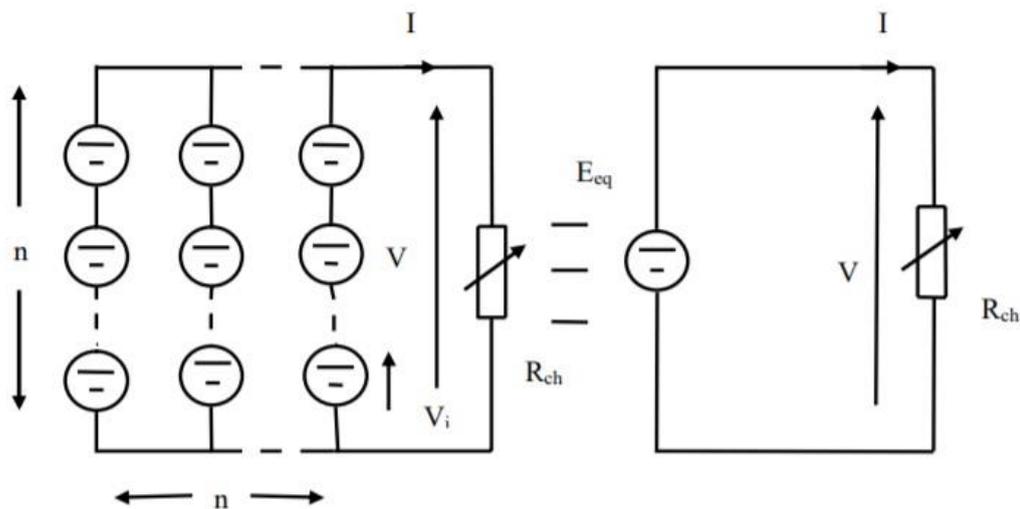


Figure (I.15) : Association mixte $N_{sx} N_p$ modules solaires.

I.9. Champ photovoltaïque

Le champ photovoltaïque se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique [3].



Figure (I.16) : Champ photovoltaïque.

Pour chaque panneau on peut avoir autant de sorties que de modules, ce qui fait qu'on aura besoin de boîte de dérivation qui les regroupe, Alors cette boîte de dérivation fixée sur une structure du montage a comme rôle d'effectuer les connections entre les modules pour obtenir une puissance optimale en sortie [3].

I.10. Avantages et inconvénients d'une installation PV

I.10.1 Avantages

- D'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage Simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Méga Watt.
- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.
- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions [7].

I.10.2 Inconvénients

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % (soit entre 10 et 15 MW/km² pour le BENELUX) avec une limite théorique pour une cellule

de 28%. Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.

- Tributaire des conditions météorologiques.
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est Nécessaire, le coût du générateur est accru.
- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes. Le faible rendement des panneaux photovoltaïques s'explique par le fonctionnement même des cellules. Pour arriver à déplacer un électron, il faut que l'énergie du rayonnement soit au moins égale à 1 eV. Tous les rayons incidents ayant une énergie plus faible ne seront donc pas transformés en électricité. De même, les rayons lumineux dont l'énergie est supérieure à 1 eV perdront cette énergie, le reste sera dissipé sous forme de chaleur [7].

I.11. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur la conversion photovoltaïque qui connaît depuis quelques années une évolution profonde associée à l'intérêt croissant pour l'énergie photovoltaïque. Nous avons étudié le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule photovoltaïque et le module photovoltaïque.

CHAPITRE II :
DIMENSIONNEMENT
D'UNE
INSTALLATION
PHOTOVOLTAÏQUE
AUTONOME

Chapitre II : Dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome

II.1. Introduction

L'efficacité de toute installation électrique dépend fondamentalement de la rigueur de son dimensionnement et de son utilisation car il influe directement sur le coût et les performances d'une installation. Le dimensionnement a pour but de déterminer la puissance du générateur photovoltaïque et la capacité de la batterie, à partir des données d'ensoleillement du site d'une part et des besoins électriques de l'utilisateur d'autre part [10].

Dans ce chapitre nous allons tout d'abord présenter les différentes installations photovoltaïques puis expliquer la méthode de réalisation d'un dimensionnement précis pour une installations photovoltaïque autonome.

II.2. Système photovoltaïque

Le système photovoltaïque se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composantes qui adaptent l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs [11].

II.2.1. Notions relatives à un système photovoltaïque

- Irradiation.
- Dispositif PV fondamental c'est la cellule PV.
- Module PV.
- Chaîne PV : Circuit dans lequel les modules PV sont connectés en série afin de former des ensembles de façon à générer la tension de sortie spécifiée. Dans le langage courant, les chaînes sont plus communément appelées « string ».
- Groupe PV : Ensemble de chaînes constituant l'unité de production d'énergie électrique en courant continu.
- Boîte de jonction : Boîte dans laquelle tous les groupes PV sont reliés électriquement et où peuvent être placés d'éventuels dispositifs de protection.
- Onduleur.

- Partie courant continu : C'est la partie d'une installation PV située entre les modules PV et les bornes de courant continu de l'onduleur.
- Partie courant alternatif : C'est la partie de l'installation PV située en aval des bornes courant alternatif de l'onduleur.
- Monitoring : Le monitoring (anglicisme) consiste à surveiller et à effectuer les mesures relatives au suivi d'une installation PV [12].

II.2.2. Critères de choix d'une installation solaire

a. Economique : coût et amortissement de l'installation par la vente de l'électricité,

b. Production de l'énergie :

- Ressource solaire du lieu géographique (latitude, les données météorologiques),
- Orientation des panneaux et inclinaison par rapport à l'horizontale,
- Ombre sur les panneaux (au cours de la journée, de l'année),
- Rendement de l'ensemble (panneaux, onduleur, pertes dans les câbles).

c. Esthétique : intégration dans l'environnement avec impact visuel harmonieux.

d. Ecologique : réduction de l'effet de serre.

e. Pédagogique : promotion des installations solaires.

f. Sécurisation : suivant le type d'installation solaire

- Installation avec stockage de l'énergie,
- Installation avec injection dans le réseau [13].

II.2.3. Différents types des systèmes photovoltaïques

Nous distinguons trois types de Systèmes Photovoltaïques :

- Système autonome.
- Système raccordé au réseau.
- Système hybride.

II.2.3.1. Système autonome

Comme illustré sur la figure (II.1) en site isolé, le champ photovoltaïque (panneaux solaires) peut fournir directement l'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner les récepteurs (éclairage et équipement domestique).

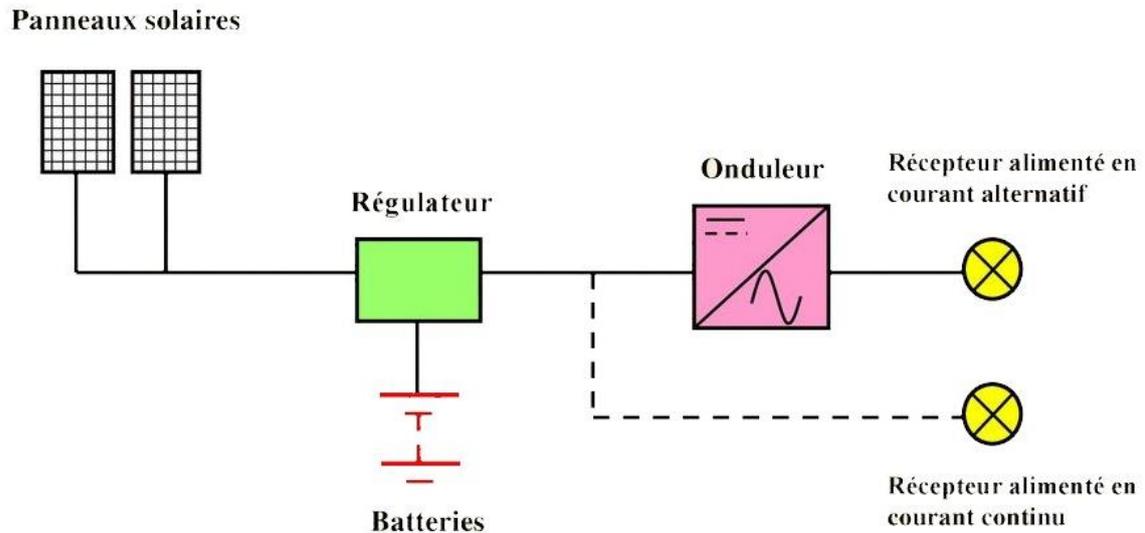


Figure (II.1) : Schéma de principe d'un système autonome

Un système de régulation et une batterie permettent de stocker l'énergie électrique qui sera ensuite utilisée en l'absence du Soleil. Les batteries sont utilisées pour stocker l'énergie électrique sous une forme chimique. Elles restituent l'énergie électrique au besoin selon ses caractéristiques. Le régulateur de charge a pour fonction principale de protéger la batterie contre les surcharges et les décharges profondes. Il est un élément essentiel pour la durée de vie de la batterie. On peut aussi utiliser des récepteurs fonctionnant en courant continu et alternatif. Dans ce cas, l'installation comprendra un onduleur. On peut citer quelques exemples de systèmes autonomes, comme les balises en mer, les lampadaires urbains, le pompage solaire et les maisons en sites isolés [14].

II.2.3.2. Système raccordé au réseau

Un tel système s'installe sur un site raccordé au réseau. Généralement sur des habitations ou des entreprises qui souhaitent recourir à une forme d'énergie renouvelable et qui bénéficient d'un bon ensoleillement, voir Figure (II.2) [15] :

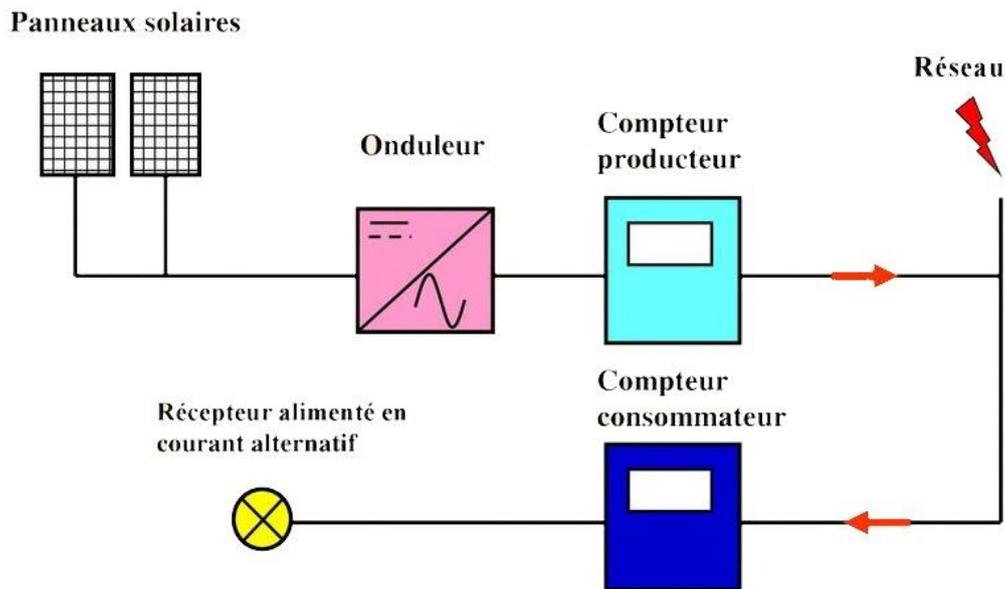


Figure (II.2) : Structure d'un système PV raccordé au réseau

II.2.3.3. Système hybride

Il s'agit de systèmes qui regroupent des sources d'énergie de nature différentes telle une installation éolienne, un générateur diesel ou une centrale de cogénération en plus du générateur photovoltaïque. Ce type d'installation est utilisé lorsque le générateur photovoltaïque seul ne couvre pas toute l'énergie requise [14].

II.2.3.3.1. Composants d'un système photovoltaïque autonome

Notre étude est basée sur le système autonome donc on va le détailler beaucoup plus en présentant leur composant :

a. Modules photovoltaïques

Les modules sont un assemblage de photopile (ou cellule) montée en série, 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, montable et démontable 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 multicristalline en plaquette ou en ruban ou encore en couches semi-minces sur substrat selon les technologies récentes. Les modules sont associés en série et en parallèle pour obtenir des puissances

importantes et la tension voulue. On protège chaque cellule PV contre l'échauffement en lui montant une diode dite « diode by-pass » en parallèle qui court-circuite. Aussi on évite qu'un module PV soit récepteur en mettant en série à chaque branche une diode dite « diode anti retour » de chute de tension négligeable [16].

b. Batteries

Le fait que l'énergie solaire ne soit pas disponible sur l'ensemble d'une période de fonctionnement du système alimenté impose l'utilisation de batteries dans les installations autonomes pour stocker l'énergie [11].



Figure (II.3) : Batterie de 150 Ah/12V

Dans les systèmes solaires autonomes on utilise principalement [17] :

- **Les batteries au plomb** : constituent l'investissement le plus économique pour un système multi-sources et présentent l'avantage d'être recyclable à plus de 90%. Cependant, ces batteries sont sensibles aux mauvais usages et leur durée de vie est souvent bien inférieure à celle du dispositif générateur d'électricité. En effet, les batteries au plomb dans leur technologie actuelle acceptent assez mal les décharges profondes.
- La profondeur de décharge est en effet responsable de la dégradation de ces batteries, conduisant à une réduction notable de leur durée de vie lorsqu'elles sont utilisées dans des conditions extrêmes.

- **Les batteries alcalines (Ni/Cd et Ni/MH)** : sont beaucoup plus robustes mais aussi plus coûteuses. Elles sont mieux adaptées aux basses températures. Par contre, leur recyclage est compliqué à cause du cadmium qui est un métal lourd et polluant.
- **Les batteries au lithium** : présentent « techniquement » les meilleures performances. L'autodécharge des accumulateurs Li-ion est en effet faible alors que leur énergie massique stockée est relativement bien supérieure.
- **Les batteries « gel »** : L'électrolyte est figé par l'addition de gel de silice. Dans certaines batteries, de l'acide phosphorique est additionné afin d'améliorer la durée de vie en cyclage profond.

c. Régulateurs

Dans tout système photovoltaïque autonome, on intercale un système dit de régulation, qui sert à contrôler l'intensité de courant qui passe par les accumulateurs, les protégeant ainsi contre les surcharges et les décharges profondes. Le régulateur permet aussi d'effectuer un transfert optimal d'énergie du champ photovoltaïque à l'utilisation [11].

Il existe plusieurs modèles de régulateurs de différentes puissances :

- Régulateur Shunt,
- Régulateur Série,
- Régulateur PWM,
- Régulateur MPPT.



Figure (II.4) : régulateur de charge

d. Onduleurs

Pour alimenter des équipements fonctionnant en courant alternatif, un dispositif électronique statique de conversion ou convertisseur DC/AC est utilisé pour la transformation du courant continu en courant alternatif [11].

• Caractéristiques des onduleurs

- ❖ Onduleurs légers (de basse puissance), ils fournissent en sortie une puissance de 100 à 10000W,
- ❖ Onduleurs de résistance moyenne, ils fournissent une puissance allant de 500 à 20000W,
- ❖ Onduleurs robustes (de grande puissance), Ils fournissent une puissance électrique allant de 10000 à 60000W.



Figure (II.5) : Onduleur de 1000W

e. Charges (utilisateurs)

Il existe deux types d'appareils alimentés par le système, celles qui fonctionnent en courant continu comme des équipements de télécommunications et celles en courant alternatif dans les cas d'usage domestique, ce cas nécessite un onduleur.

L'utilisation de l'énergie photovoltaïque doit être pensée en termes d'économie de l'énergie. Il est donc plus avantageux de chercher des consommateurs fonctionnant en courant continu plutôt que d'ajouter un onduleur et un consommateur [11].

f. Accessoires

Tels que les câbles qui assurent le raccordement des composants.

II.3. Dimensionnement d'une installation PV

Le dimensionnement est un aspect fondamental de la conception du système. C'est l'ensemble des opérations nécessaires, une fois connue la consommation de l'installation, pour déterminer les dimensions optimales du générateur photovoltaïque, du système d'accumulation qui est capable de garantir cette consommation. Dans cette partie il ya deux paramètres particulièrement importants : Connaitre le rayonnement incident sur le système et déterminer avec précision la consommation [18].

II.3.1. Paramètres d'entrée intervenants dans le dimensionnement

D'une manière générale, les paramètres à prendre en compte pour concevoir et dimensionner un système photovoltaïque sont assez nombreux et concernent :

- Le lieu où sera placé le générateur PV,
- Le système PV (modules, régulateur, onduleur et batteries),
- La charge.

II.3.1.1. Paramètres relatifs au système PV

Les paramètres concernant le système donnent à titre indicatif un ordre de grandeur du rendement de l'installation, sont relatifs aux modules photovoltaïques, éléments de batterie, régulateur et onduleurs existants dans le marché. Ces paramètres basés sur un critère liant d'un côté la satisfaction des besoins et le fonctionnement optimal du système et de l'autre la disponibilité [12].

II.3.1.2. Paramètres relatifs au site d'installation

Le dimensionnement du générateur PV est dicté par les conditions relatives au site. Pour adopter les capacités générateur PV / batterie, aux conditions de charge, il est indispensable de connaître les caractéristiques de l'irradiation solaire par jour ou par mois, soit l'énergie moyenne reçue sur un plan donné, à l'endroit même où sera situé le générateur PV. Les données doivent être connues pour chaque mois de l'année. Elles peuvent être obtenues par des organismes nationaux de météorologie ou par des calculs (outil informatique), qui exigent les paramètres d'entrées suivants [19] :

- ❖ Latitude

- ❖ Réflectivité du sol ou albédo,
- ❖ Irradiation moyenne journalière la plus défavorable dans l'année, soit mesurée ou calculée

II.3.1.3. Paramètres concernant le module PV

Les paramètres concernant le module PV sont [12] :

- ❖ Tension maximale,
- ❖ Courant maximal,
- ❖ Puissance maximale.

Les paramètres aux conditions standards (1000 W, 25 °C) sont donnés par le constructeur.

II.3.1.4. Paramètres concernant les batteries de stockage

Les paramètres relatifs au système de stockage sont donnés selon la disponibilité des batteries à capacité normalisée :

- ❖ Profondeur de décharge selon le constructeur,
- ❖ Rendement énergétique de la batterie.

II.3.1.5. Paramètres concernant le régulateur de charge

Les paramètres sont, la tension selon la puissance de la charge et le rendement donné par le constructeur.

II.3.1.6. Paramètres concernant l'onduleur

Pour l'onduleur on précisera le rendement seulement, qui est aussi donné par le constructeur [19].

II.3.1.7. Paramètres concernant la charge

Les paramètres concernant la charge sont [12] :

- ❖ Type d'alimentation continue ou alternative,
- ❖ Puissance de la charge,
- ❖ Durée de fonctionnement moyenne par jour

II.3.2. L'angle d'inclinaison des panneaux

Un panneau photovoltaïque capte le maximum d'énergie lumineuse quand il est perpendiculaire aux rayons du soleil, or l'angle d'incidence de ces rayons varie au cours de la journée et au cours des saisons (le soleil est bas sur l'horizon pendant l'hiver et haut dans le ciel en été).

Les dispositifs de poursuite de la course du soleil dans le ciel seraient donc idéaux s'ils ne présentaient pas quelques inconvénients : ils sont complexes, fragiles et coûteux, en plus que leur usage ne peut se justifier qu'en cas d'absence de couverture nuageuse (nébulosité).

L'inclinaison optimale généralement décidée d'un panneau solaire est donc fixe. On la choisit de manière à favoriser la production énergétique du mois le moins ensoleillé de la période envisagée d'exploitation, face au sud dans l'hémisphère nord. Le tableau suivant explique la manière de déterminer cette angle-là [20] :

Latitude du lieu	Angle d'inclinaison
0° – 9°	15°
10° – 20°	Latitude + 5°
21° – 45°	Latitude + 10°
46° – 65°	Latitude + 15°
66° – 75°	80 °

Tableau (II.2) : L'angle d'inclinaison par rapport à la latitude

II.3.3. L'orientation des panneaux

L'orientation des panneaux varie en fonction de l'hémisphère de lequel l'installation aura lieu mais aussi en fonction des saisons et des heures de la journée.

En fait, ce qui est sûr, c'est que le soleil se lève à l'Est et se couche à l'Ouest. De ce fait, c'est toujours au Sud que les panneaux capteront le maximum de rayonnement solaire si

l'installation se trouve dans l'hémisphère Nord. Et si c'est dans l'hémisphère sud il faudra orienter les panneaux vers Nord [21].

II.4. Méthodes de dimensionnement d'un système PV

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque :

II.4.1. Méthode de la probabilité d'erreur dans la consommation

Cette méthode permet d'optimiser le dimensionnement d'un système dans des conditions complexes (fluctuations saisonnières de l'irradiation, ciel couvert (nuageux), ... etc.) grâce à un logiciel adapter. L'inconvénient de cette méthode est qu'il faut connaître les radiations pour un nombre d'années très grand (10 ans minimum) [22].

II.4.2. Méthode de la moyenne annuelle

Cette méthode est très proche de celle du mois le plus défavorable. Elle utilise aussi, l'irradiation journalière en (KWh/m²/jr), pour une durée d'une année [22].

II.4.3. Méthode LPSP

Probabilité de Perte d'énergie (Loss of Power Supply Probability), est une technique probabiliste introduite par Abou Zahr et Ramakumar dans le domaine des systèmes de génération photovoltaïques et largement utilisée dans la conception et l'optimisation des systèmes autonome (stand alone), jusqu'à présent. Elle est basée sur le concept de LPSP qui est la probabilité que le système rencontre une pénurie à un moment donné pendant une période d'analyse, c'est-à-dire un état dans lequel le système ne serait pas en mesure de fournir l'énergie nécessaire à la charge. Donc la méthode LPSP est définie comme étant la fraction de l'énergie déficitaire sur celle demandée par la charge. Elle exprime le taux de non-satisfaction de la charge. A partir de l'information sur la variabilité de la ressource renouvelable et sur la corrélation avec la charge, la méthode LPSP peut être définie, en termes d'état de charge des batteries par [23] :

$$E_{bat}(t) = E_{bat}(t-1)(1-\sigma) + \left(\frac{E_L(t)}{\eta_{ond}} - E_s(t) \right) \quad (\text{II.1})$$

Où,

$E_{bat}(t)$: Energie stockée dans la batterie à une heure

$E_{bat}(t - 1)$: Energie stockée dans la batterie à l'heure précédente (t-1)

σ : Taux horaire d'autodécharge

$E_s(t)$: Energie produite par la source (Wh)

$E_L(t)$: Energie demandée par la charge à une date t (Wh)

η_{ond} : Rendement de l'onduleur

II.4.4. Méthode des heures équivalentes

Elle considère que l'intensité fournie par un module photovoltaïque est proportionnelle à l'ensoleillement, le calcul est effectué pour le mois le plus défavorable de l'année, on détermine alors le courant fourni par le champ photovoltaïque dans les conditions où la température est donnée par la relation [24] :

$$T_j = T_u + 25 \quad (\text{II.2})$$

Où,

T_u : Température diurne

L'énergie fournie par un module photovoltaïque ou une série de modules suivant la tension du système est donnée par l'expression suivante :

$$E = IV(G/B)\mu S \quad (\text{II.3})$$

B : Eclairement de référence

V : Tension du générateur PV

μ : Coefficient d'intégration

S : Coefficient de sécurité

G : Energie incidente reçue sur le plan des modules

II.4.5. Méthode itérative

Connue aussi sous le nom de méthode « Ampère-heure » [17] cette méthode consiste à déterminer le nombre de panneaux photovoltaïques nécessaire pour satisfaire la demande, puis peu à peu à réduire ce nombre, tout en calculant le pourcentage des besoins énergétiques

annuels fournis par le générateur PV et ainsi à compléter le reste par l'énergie fournie par un générateur complémentaire.

Etape1 : Evaluation de la puissance à produire E_p pour satisfaire la demande calcule l'énergie quotidienne nécessaire à produire en moyenne E_p afin de déduire les besoins pour chaque mois. Cette énergie peut être exprimée en Wh ou en « Ah sous 48 V ». Elle est égale à l'énergie consommée par la charge E corrigée par un coefficient k pour bien assurer les besoins de l'habitat :

$$E_p = \frac{E}{k} \quad (\text{II.4})$$

Le coefficient k tient compte des facteurs suivants :

- ❖ Le rendement du convertisseur
- ❖ Le rendement des cycles de charge et de décharge de la batterie
- ❖ Les pertes dans les câbles et connexions.

Etape 2 : Détermination de la capacité de stockage des batteries

La capacité des batteries est donnée par la formule suivante :

$$C_n = \frac{E_p \cdot N}{DOD \cdot f_t} \quad (\text{II.5})$$

C_n : Capacité nominale de la batterie en Ampère-heure

E_p : Energie à produire par jour N : Nombre de jours d'autonomie

DOD : Profondeur de décharge maximale admissible par les batteries (70% pour les batteries au plomb)

f_t : Facteur de réduction de température

$$f_t = \frac{C}{C_0} = 0.01035 \cdot T_a + 0.724 \quad (\text{II.6})$$

Où,

C : Capacité de la batterie

T_a : Température (en °C)

C_0 : Capacité de la batterie évaluée à 27°C

Etape 3 : Calcul de la puissance crête nécessaire P_c du générateur photovoltaïque pour chaque mois.

$$P_c = \frac{E_p}{\eta_{pc} \cdot T_{sun}} \quad (\text{II.7})$$

E_p : Énergie produite par jour

T_{sun} : Temps équivalent avec pleine irradiation (heure par jour)

η_{pc} : Facteur de dégradation

Etape 4 : Détermination du nombre de panneaux photovoltaïques nécessaire chaque mois

$$N = \frac{P_c}{\text{puissance crête unitaire d'un panneau}} \quad (\text{II.8})$$

II.4.6. Méthode utilisabilité solaire

La méthode utilisabilité solaire est un outil très puissant pour le dimensionnement des systèmes photovoltaïques. L'utilisabilité de la radiation solaire est définie comme étant la fraction de la radiation totale incidente sur la surface des panneaux PV, et qui excéderait un niveau spécifique appelé niveau critique. Avant de donner la relation permettant de calculer l'utilisabilité solaire, il nous faut d'abord définir quelques paramètres [25].

a. Calcul du rendement moyen

Le rendement moyen du module PV η_p est fonction de la température moyenne du module T_c :

$$\eta_p = \eta_r [1 - \beta(T_c - T_r)] \quad (\text{II.9})$$

η_r : Rendement du module à la température de référence T_r (25°C)

β_p : Coefficient de température pour le rendement du module

T_c Est reliée à la température ambiante du mois T_a par la formule d'Evans :

$$T_c - T_r = (216 + 832\overline{K_T}) \frac{NOCT - 20}{800} \quad (\text{II.10})$$

NOCT (Nominal Operating Cell Température) : Température nominale des cellules en opération
KT : Indice de clarté mensuelle.

b. Énergie électrique produite par les panneaux PV

L'énergie produite par les panneaux PV durant une heure t de la journée, est donné par la relation suivante :

$$E_p(t) = S \cdot \eta_p \cdot \bar{I}_t \quad (\text{II.11})$$

S : Surface de ces panneaux

η_p : Rendement moyen des cellules PV

\bar{I}_t : Irradiation horaire incidente sur la surface inclinée des panneaux

Cette énergie doit être réduite par les « pertes diverses du champ PV » λ_p et les « autres pertes du conditionnement de l'énergie » λ_c

$$E_a(t) = E_p(t)(1 - \lambda_p)(1 - \lambda_c) \quad (\text{II.12})$$

$E_a(t)$: Énergie disponible pour la charge électrique et l'accumulateur durant l'heure t .

II.4.7. Méthode simplifiée

Appelée aussi méthode du mois le plus défavorable, dans cette méthode, on estime l'énergie récupérable pour une période critique d'un mois, appelé le mois le plus défavorable. Ce mois correspond au mois pendant lequel la valeur de l'irradiation moyenne mensuelle est la plus faible de l'année ou dans certains pays la période d'hivers est rude [28].

Étape1 : Estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité

Il s'agit d'estimer la consommation d'équipements supposés connus. L'objectif est d'obtenir la consommation totale moyenne par jour. L'énergie totale moyenne nécessaire chaque jour $E_{cj}(\text{Wh/j})$ est la somme des consommations énergétiques des divers équipements constituant le système à étudier, à savoir les télévisions, les lampes d'éclairage, les appareils électroniques, ... ; Elle est donnée par la loi suivante :

$$E_{cJ} = \sum E_j \quad (\text{II.13})$$

Pour les équipements qui ne sont pas utilisés quotidiennement et pour tous les équipements à forte consommation, partez de la durée du cycle de fonctionnement de la tâche. Ainsi, la consommation de chaque équipement peut être calculée comme suit [26] :

$$E_j = n_j \cdot P_j \cdot t_j \quad (\text{II.14})$$

P_j : Puissance journalière d'un équipement

t_j : Temps de fonctionnement

N_j : Nombre des équipements

Etape 2 : Estimation de l'ensoleillement sur le site de l'installation du générateur PV

Les données de l'ensoleillement peuvent être relevées sur le site ou enregistrées sur la carte de l'ensoleillement de la région ou encore obtenues au niveau de la station météo la plus proche de la zone [16].

Etape 3 : calcul du nombre de panneaux photovoltaïques

Après avoir calculer la Puissance crête avec l'équation suivante [27] :

$$P_C = \frac{E_{CJ}}{0.65 E_I} \quad (\text{II.15})$$

P_C : Puissance crête

E_I : Gisement solaire

0.65 est le coefficient de pertes

Puis on obtiendra le nombre de panneaux photovoltaïques avec les équations ci-dessous :

$$\left\{ \begin{array}{l} N_P = \frac{P_C}{P_P} \\ N_{PS} = \frac{V}{V_P} \\ N_{PP} = \frac{N_P}{N_{PS}} \end{array} \right. \quad (\text{II.16})$$

N_P : Nombre des panneaux

P_P : Puissance d'un panneau

N_{PS} : Nombre des panneaux en série

V_P : Voltage d'un panneau

N_{PP} : Nombre des panneaux en parallèle

Pour le voltage V il est défini par rapport à la puissance crête P_C [28] :

- ❖ Moins de 500 watts crête : elle est de 12V
- ❖ De 501 à 2000 watts crête : elle est de 24V
- ❖ De 2001 à 10000 watts crête : elle est de 48V

- ❖ Plus de 10000 watts crête : elle est supérieure à 48V

Etape 4 : calcul du nombre de batteries

On calcule la capacité des batteries avec [27] :

$$C = \frac{N_J \cdot E_{CJ}}{D_P \cdot V} \quad (\text{II.17})$$

C : Capacité des batteries

N_J : Nombre de jour d'autonomie

D_P : Coefficient de décharge profonde (pour la batterie solaire c'est 0.8)

$$\begin{cases} N_{BS} = \frac{V}{V_B} \\ N_{BP} = \frac{C}{C_B} \\ N_B = N_{BS} + N_{BP} - 1 \end{cases} \quad (\text{II.18})$$

N_{BS} : Nombre des batteries en série

V_B : Voltage d'une batterie

N_{BP} : Nombre des batteries en parallèle

C_B : Capacité d'une batterie

N_B : Nombre des batteries

Etape 5 : Choix de régulateur

Parmi les différents types de régulateurs, on doit choisir, celui qui est le mieux adapté à notre installation. Afin de déterminer ses caractéristiques on sépare souvent les deux fonctions de régulateur : (charge et décharge).

La régulation de charge (à l'entrée) est fonction de la puissance du générateur, donc du courant produit par les modules. La régulation de décharge (à la sortie) est fonction de la puissance totale des récepteurs donc du courant consommé par ces derniers.

- **Tension nominale :**

C'est la tension nominale du champ photovoltaïque.

- **Le courant d'entrée :**

Doit être supérieur à la valeur maximale produite par le générateur. Pour estimer ce courant, on prend 1.5 fois le courant de court-circuit total des modules pour un régulateur

shunt (pour de faible puissance), pour un régulateur série 1.5 fois le courant total au point de puissance maximale (pour moyenne puissance) et de même pour un régulateur MPPT (pour de grande puissance).

• **Le courant de sortie :**

Doit être supérieure à la valeur maximale appelée par les récepteurs lorsqu'ils fonctionnent tous au point maximum de leur puissance de fonctionnement [22].

Etape 6 : Choix de l'onduleur

Le dimensionnement sera basé sur [23] :

- ❖ Le rendement η_{ond} : c'est la conversion (DC/AC) qui atteint des valeurs assez élevées en fonctionnement nominal (égale à 0,8),
- ❖ La consommation à vide : c'est l'ensemble des pertes induites par l'onduleur en absence de charge, la diminution de ces pertes assure un bon stockage dans l'accumulateur,
- ❖ La fréquence sera 50Hz,
- ❖ La tension d'entrée : elle est égale à celle de la batterie.

La puissance nominale est donnée par cette équation :

$$P_{ond} = \frac{P_T}{\eta_{ond}} \quad (\text{II.19})$$

$$P_T = n_j \cdot P_j \quad (\text{II.20})$$

P_T : Puissance totale des charges

Etape 7 : Dimensionnement des câbles

Il est nécessaire de limiter la longueur des câbles électriques entre le générateur photovoltaïque et les récepteurs. Cette distance n'excède jamais quelques mètres. En effet les systèmes solaires fonctionnent généralement sous faible tension (12V, 24V, 48V), donc avec un courant élevé ($P = U \cdot I$), Si U est faible, I est très élevé pour la même puissance. Le transport à distance de ce courant de plusieurs ampères provoque des pertes par effet joule aux niveaux des conducteurs [21].

$$P_j = \Delta V \cdot I = R \cdot I^2 \quad (\text{II.21})$$

On calcul la section des câbles, d'après les formules suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} S = \frac{\rho.L}{R} \\ S = \frac{\Delta V}{I} \\ \Delta V = e.V \\ S = \frac{\rho.I.L}{e.V} \end{array} \right. \quad (\text{II.22})$$

Avec :

ρ : Résistivité du câble ($\rho = 0.017$ ohm mm²/m pour le cuivre)

I : Intensité du courant électrique

L : Longueur du câble électrique

e : chute de la tension (3-5%)

V : tension du système PV

II.5. Conclusion

Dans tous les cas, pour réaliser un dimensionnement d'une installation photovoltaïque il est nécessaire de connaître : le gisement d'énergie solaire du lieu concerné ; le choix des modules PV, leur implantation et la structure support ; le choix des composants électriques assurant la régulation, la protection du système et des usagers ; ainsi que la mise en œuvre (câblage, maintenance). Et d'après ce que nous avons exposé dans ce chapitre la méthode la plus efficace et rapide au même temps c'est bien la méthode simplifiée vu sa simplicité et aussi sa précision.

Dans le chapitre suivant après avoir expliqué les bases de sa réalisation nous allons entamer la présentation de l'interface web que nous avons créé afin d'effectuer le dimensionnement des installations photovoltaïques autonomes en se basant sur la méthode simplifiée.

CHAPITRE III :
REALISATION D'UNE
INTERFACE WEB
POUR
DIMENSIONNER LES
SYSTEMES
PHOTOVOLTAÏQUES
AUTONOMES

Chapitre III : Réalisation d'une interface web pour dimensionner les systèmes photovoltaïques autonomes

III.1. Introduction

De nos jours les gens de plus en plus se dirigent vers les énergies renouvelables en particulier le photovoltaïque ce qui explique leur volonté d'avoir leur propre installation autonome soit pour des raisons d'endroit (site isolé) ou économique ou soit pour avoir leur indépendance en énergétique mais la majorité ignore le matériel et la méthode qu'il leur faut pour réaliser ça.

Afin de répondre leur quête nous avons consacré nos efforts et on s'appuyant sur la méthode de dimensionnement simplifiée qu'on a déjà cité dans le chapitre précédent, nous avons fini par créer une interface web qui leur permettra facilement d'effectuer le dimensionnement d'une installation juste en introduisant quelques données(emplacement , charges, ...) et choisir le type de matériel qui leur conviendra(panneaux, batterie, ...) ils auront tout un rapport détaillant ce qui leur faudra comme matériels et la manière de les combiner et pourront effectuer directement leur achat sans appel à un spécialiste et d'une manière à économiser le temps et l'argent.

Dans ce chapitre nous allons d'abord présenter les outils informatiques que nous avons utilisé dans la réalisation de cette interface puis donner les moyens de base qui nous a permis de mettre en œuvre ce travail et à la fin nous allons expliquer son principe de fonctionnement détaillé.

III.2. Le Web

Le Web est le terme communément employé pour parler du World Wide Web, ou WWW, traduit en français par la toile d'araignée mondiale. Il fait référence au système hypertexte fonctionnant sur le réseau informatique mondial Internet. Par abus de langage, le Web désigne de façon plus large tout ce qui se rapproche à cet univers internet. On ne fait plus toujours aujourd'hui la distinction technique entre ce que définit le Web et ce que définit Internet.

Inventé par Tim Berners-Lee et Robert Cailliaud à la fin des années 1980, le Web se résume à cet outil qui permet la consultation, via un navigateur, de pages de sites Internet (ou sites Web). Il ne représente qu'une partie de ce que comporte réellement Internet avec, notamment, les applications de courrier électronique et le partage de fichiers en P2P, entre autres [29].

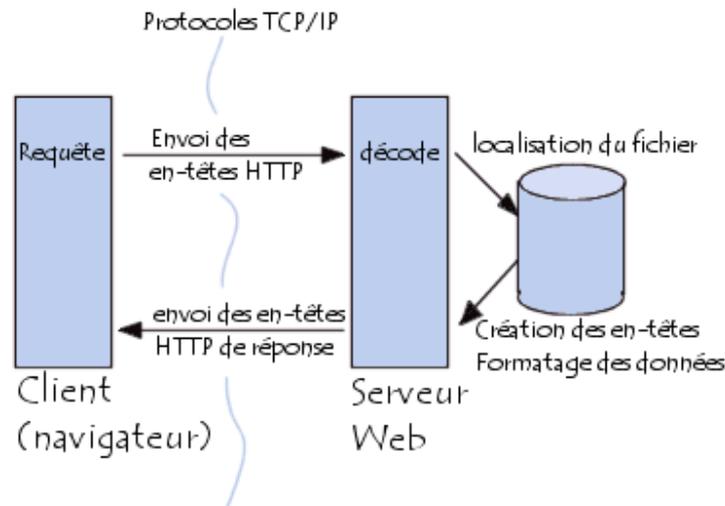


Figure (III.1) : Schéma sur le fonctionnement du web

III.3. Outils informatiques utilisés

III.3.1. HTML

L'HTML est un langage informatique utilisé sur l'internet. Ce langage est utilisé pour créer des pages web. L'acronyme signifie HyperText Markup Language, ce qui signifie en français "langage de balisage d'hypertexte". Cette signification porte bien son nom puisqu'effectivement ce langage permet de réaliser de l'hypertexte à base d'une structure de balisage.

Ce n'est pas à proprement parlé un langage de programmation, mais plutôt un langage qui permet de mettre en forme du contenu. Les balises permettent de mettre en forme le texte et de placer des éléments interactifs, tel des liens, des images ou bien encore des animations. Ces éléments ne sont pas dans le code source d'une page codée en HTML mais "à côté" et la page en HTML ne fait que reprendre ces éléments. Pour visualiser une page en HTML il est nécessaire d'utiliser un navigateur web.

La plupart du temps d'autres langages informatiques sont associé à une page codée en HTML. Par exemple le CSS, qui permet de mettre en forme le contenu d'une page codé en HTML. Il y a également des langages informatiques qui dépendent entièrement du HTML, tel le Javascript [30].

```

<div class="container sizing-container">
  <form id="pv-form">
    <div class="row mt-1 mb-1">
      <div class="col-lg-7 col-md-6 location-field">
        <div class="location">Enter your location</div>
        <input
          type="text"
          id="location-input"
          class="field"
          placeholder="Location"
          required
        />
        <button class="gps">
          <p class="text">GPS</p>
          <i class="fa fa-crosshairs" aria-hidden="true"></i>
        </button>
      </div>
      <div class="col-lg-5 col-md-6">
        <div class="days">Enter number day of autonomy</div>
        <input
          id="number-day-input"
          class="field"
          type="number"
          step="any"
          min="0"
          placeholder="Days"
          required
        />
      </div>
    </div>
  </div>
</div>

```

Figure (III.2) : HTML

III.3.2. CSS

Le terme CSS est l'acronyme anglais de Cascading Style Sheets qui peut se traduire par "feuilles de style en cascade". Le CSS est un langage informatique utilisé sur l'internet pour mettre en forme les fichiers HTML ou XML. Ainsi, les feuilles de style, aussi appelé les fichiers CSS, comprennent du code qui permet de gérer le design d'une page en HTML.

Bien que l'HTML puisse être mis en forme à l'aide de balises prévus à cet effet, de nos jours il est plus judicieux d'utiliser le CSS et de n'utiliser le XHTML que pour le contenu.

L'avantage de l'utilisation d'un fichier CSS pour la mise en forme d'un site réside dans la possibilité de modifier tous les titres du site en une seule fois en modifiant une seule partie du fichier CSS. Sans ce fichier CSS, il serait nécessaire de modifier chaque titre de chaque page du site (difficilement envisageable pour les énormes sites de plusieurs milliers de pages).

D'autres points forts sont perceptibles. Il est par exemple possible de créer une feuille de style spécifique pour l'impression des documents, ce qui permet de retirer tous les effets de style et toutes les parties inutiles lors de l'impression. De même, une feuille de style peut être utilisée pour les utilisateurs d'un téléphone portable, ce qui permet de mieux gérer la mise en forme particulièrement pour les petits écrans de ces appareils [30].

```
nav {
  position: relative;
  z-index: 2;
  width: 100%;
  background-color: #90fd02;
  overflow-x: hidden;
}

nav .container {
  position: relative;
  color: #000a5e !important;
  min-height: 50px;
}

nav .row {
  height: 100%;
  margin: 0;
  padding: 5px 0;
  -webkit-box-align: center;
  -ms-flex-align: center;
  align-items: center;
  -webkit-box-pack: center;
  -ms-flex-pack: center;
  justify-content: center;
  text-align: center;
}

nav .home {
  font-weight: bold;
}

nav .home i {
  font-size: 1.5rem;
  -webkit-transition: .5s;
  transition: .5s;
}
```

Figure (III.3) : CSS

III.3.3. Bootstrap

Bootstrap est un Framework développé par l'équipe du réseau social Twitter. Proposé en open source (sous licence MIT), ce Framework utilisant les langages HTML, CSS et JavaScript fournit aux développeurs des outils pour créer un site facilement. Ce Framework est pensé pour développer des sites avec un design responsive, qui s'adapte à tout type d'écran, et en priorité pour les smartphones. Il fournit des outils avec des styles déjà en place pour des typographies, des boutons, des interfaces de navigation et bien d'autres encore. On appelle ce type de Framework un "Front-End Framework".

On a utilisé le Bootstrap pour assurer de responsive design pour que le site puisse être rendu parfaitement même pour les smartphones [31].

III.3.4. JavaScript

Le JavaScript est un langage informatique utilisé sur les pages web. Ce langage à la particularité de s'activer sur le poste client, en d'autres mots c'est votre ordinateur qui va recevoir le code et qui devra l'exécuter. C'est en opposition à d'autres langages qui sont activé côté serveur. L'exécution du code est effectuée par votre navigateur internet tel que Firefox ou Google chrome.

L'une des choses primordiales à savoir est de bien se rendre compte que le JavaScript n'a aucun rapport avec le Java qui est un autre langage informatique.

La particularité du JavaScript consiste à créer des petits scripts sur une page HTML dans le but d'ajouter une petite animation ou un effet particulier sur la page. Cela permet en général d'améliorer l'ergonomie ou l'interface utilisateur, mais certains scripts sont peu utiles et servent surtout à ajouter un effet esthétique à la page. L'intérêt du JavaScript est d'exécuté un code sans avoir à recharger une nouvelle fois la page.

La technique AJAX (Asynchronous Javascript And XML) utilise grandement le JavaScript dans le but d'interagir sur la page de manière dynamique.

Dans notre travail on a utilisé le JavaScript pour réaliser les calculs voulus et aussi pour communiquer avec des API ci-dessous définie [30].

```

export const ErrorPopup = (form) => {
  if (form.childNodes.length === 9) {
    // Create A Popup
    let popup = document.createElement("div");
    popup.classList = "popup";
    // Render Popup
    let message = errorTrans();
    popup.innerHTML =
`<div class="alert alert-danger alert-dismissible fade show" role="alert">
  ${message}
  <button type="button" class="close" data-dismiss="alert" aria-label="Close">
    <span aria-hidden="true">&times;</span>
  </button>
</div>`;

    form.appendChild(popup);

    // Wait Before Delete Popup
    setTimeout(() => {
      popup.style.opacity = 1;
    }, 250);
    setTimeout(() => {
      popup.style.opacity = 0;
      setTimeout(() => {
        popup.style.display = "none";
        popup.remove();
      }, 1000);
    }, 5000);
  }
};

```

Figure (III.4) : JavaScript

III.3.5. Les API

Une API est un ensemble de définitions et de protocoles qui facilite la création et l'intégration des logiciels d'applications. API est un acronyme anglais qui signifie « Application Programming Interface », que l'on traduit par interface de programmation d'application.

Les API permettent à votre produit ou service de communiquer avec d'autres produits et services sans connaître les détails de leur mise en œuvre. Elles simplifient le développement d'applications et vous font ainsi gagner du temps et de l'argent. Lorsque vous concevez de nouveaux outils et produits, ou que vous assurez la gestion de ceux qui existent

déjà, les API vous offrent plus de flexibilité, simplifient la conception, l'administration et l'utilisation, et vous donnent les moyens d'innover [32].

Nous accédons à une API par exemple LocationIQ définie ci-dessous, via une interface HTTP en envoyant une requête à travers la fonction représentée dans la figure suivante :

```
export const geocode = async (location, lang) => {
  try {
    const response = await axios.get(
      "https://us1.locationiq.com/v1/search.php",
      {
        params: {
          q: location,
          key: "API-KEY",
          format: "json",
          "accept-language": lang,
          normalizeaddress: 0,
        },
      }
    );

    console.log(response);
  } catch (error) {
    console.error(error);
  }
};
```

Figure (III.5) : Fonction pour appeler une API (LocationIQ)

Et Nous recevons une réponse sous forme d'un objet JSON représenté dans la figure suivante :

```
[
  {
    "place_id": "236451703",
    "licence": "https://locationiq.com/attribution",
    "osm_type": "relation",
    "osm_id": "2094122",
    "boundingbox": [
      "36.7056237",
      "36.833653",
      "4.908666",
      "5.1074723"
    ],
    "lat": "36.7511783",
    "lon": "5.0643687",
    "display_name": "Bejaia, Bejaia District, Bejaia, 06000, Algeria",
    "class": "place",
    "type": "city",
    "importance": 0.609605977375333,
    "icon": "https://locationiq.org/static/images/mapicons/poi_place_city.p.20.png"
  },
  {
    "place_id": "236317497",
    "licence": "https://locationiq.com/attribution",
    "osm_type": "relation",
    "osm_id": "1278765",
    "boundingbox": [
      "36.2176051",
      "36.8959418",
      "4.350452",
      "5.482965"
    ],
    "lat": "36.55678",
    "lon": "4.78693462640449",
    "display_name": "Bejaia, 06000, Algeria",
    "class": "boundary",
    "type": "administrative",
    "importance": 0.585479512807205,
    "icon": "https://locationiq.org/static/images/mapicons/poi_boundary_administrative.p.20.png"
  },
  {
    "place_id": "15930131",
    "licence": "https://locationiq.com/attribution",
    "osm_type": "node",
    "osm_id": "1885252540",
    "boundingbox": [
      "36.7457993",
      "36.7557993",
      "5.0769377",
      "5.0869377"
    ],
    "lat": "36.7507993",
    "lon": "5.0819377",
    "display_name":
      "Bejaia, مڨن حى مڨن حى بابورس, Cité Mangin, Bejaia, Bejaia District, Bejaia, 06000, Algeria"
  },
  {
    "class": "railway",
    "type": "station",
    "importance": 0.101,
    "icon": "https://locationiq.org/static/images/mapicons/transport_train_station2.p.20.png"
  },
  {
    "place_id": "59251386",
    "licence": "https://locationiq.com/attribution",
    "osm_type": "node",
    "osm_id": "5085729757",
    "boundingbox": [
      "36.7524842",
      "36.7525842",
      "5.0923355",
      "5.0924355"
    ],
    "lat": "36.7525342",
    "lon": "5.0923855",
    "display_name":
      "Bejaia, Promenade Leonardo Fibonacci à la brise de mer, Cité Sidi Bouali, Amimoune, Bejaia, Bejaia District, Bejaia, Algeria"
  },
  {
    "class": "amenity",
    "type": "ferry_terminal",
    "importance": 0.101
  }
]
```

Figure (III.5) : Réponse d'un API (LocationIQ)

III.3.5.1. LocationIQ API

C'est une Geocoding API ou en français l'API de géocodage, lancée en 2015 par un groupe de développeurs indien c'est un service qui fournit le géocodage et le géocodage inversé des adresses. Et c'est le processus de conversion d'adresses (comme une adresse de rue) en coordonnées géographiques (comme la latitude et la longitude), que vous pouvez utiliser pour placer des marqueurs sur une carte, ou positionner la carte.

Le géocodage inversé est le processus de conversion des coordonnées géographiques en une adresse lisible par l'homme.

Nous pouvons également utiliser l'API de géocodage pour trouver l'adresse d'un ID du lieu donné.

LocationIQ propose des services avec des plans payant et gratuit et vu que notre travail est en développement nous avons opté pour le plan gratuit de la « Geocoding API et « Reverse Geocoding API qui suffit largement pour notre travail.

III.3.5.2. Weatherbit API

C'est un une API qui fournit des prévisions météorologiques, des observations et des historiques de données météorologiques comme : température, précipitations, estimation des chutes de neige, indice UV, rayonnement solaire, conditions météorologiques et vitesse du vent. Tout cela pour des emplacements dans le monde entier. Ces données proviennent de plus de 120 000 stations météorologiques dans le monde et aussi des plus grands instituts mondiaux spécialisés dans ce secteur d'activité comme : **NOAA Integrated Surface, MADIS** et **GHCN datasets**. De plus, ils remplissent et collectent des données à partir d'ensembles de données alternatifs pour améliorer leurs ensembles de données historiques. Ces ensembles de données comprennent des historiques de satellites, des radars pluviométriques et des projets de réanalyse pour créer l'enregistrement des historiques de données météorologiques le plus complet possible [33].

Pour notre travail on a besoin des données de l'ensoleillement ou le rayonnement solaire afin qu'on puisse avoir le gisement solaire partout dans le monde.

III.4. Présentation de l'interface

En accédant à notre interface web via le lien www.pvsizer.ml on aura cette fenêtre d'accueil :



Figure (III.6) : Page d'accueil de l'interface

Dans laquelle on trouvera en haut dans le côté droit deux boutons **EN** et **FR** qui nous donnent la possibilité de choisir la langue qui nous convient entre l'anglais et le français, en suite on trouve un message de bienvenu suivi d'une description du but de cette interface.

On peut directement commencer le dimensionnement en cliquant sur le bouton **commencer le dimensionnement** comme on peut commencer par voir l'idée général de ce travail tout en cliquant sur le bouton **A propos de notre travail** qui va nous donner cette vue :



Figure (III.7) : Description de l'interface

Après avoir cliqué sur le bouton **Commencer le dimensionnement** on sera dirigé vers cette fenêtre :

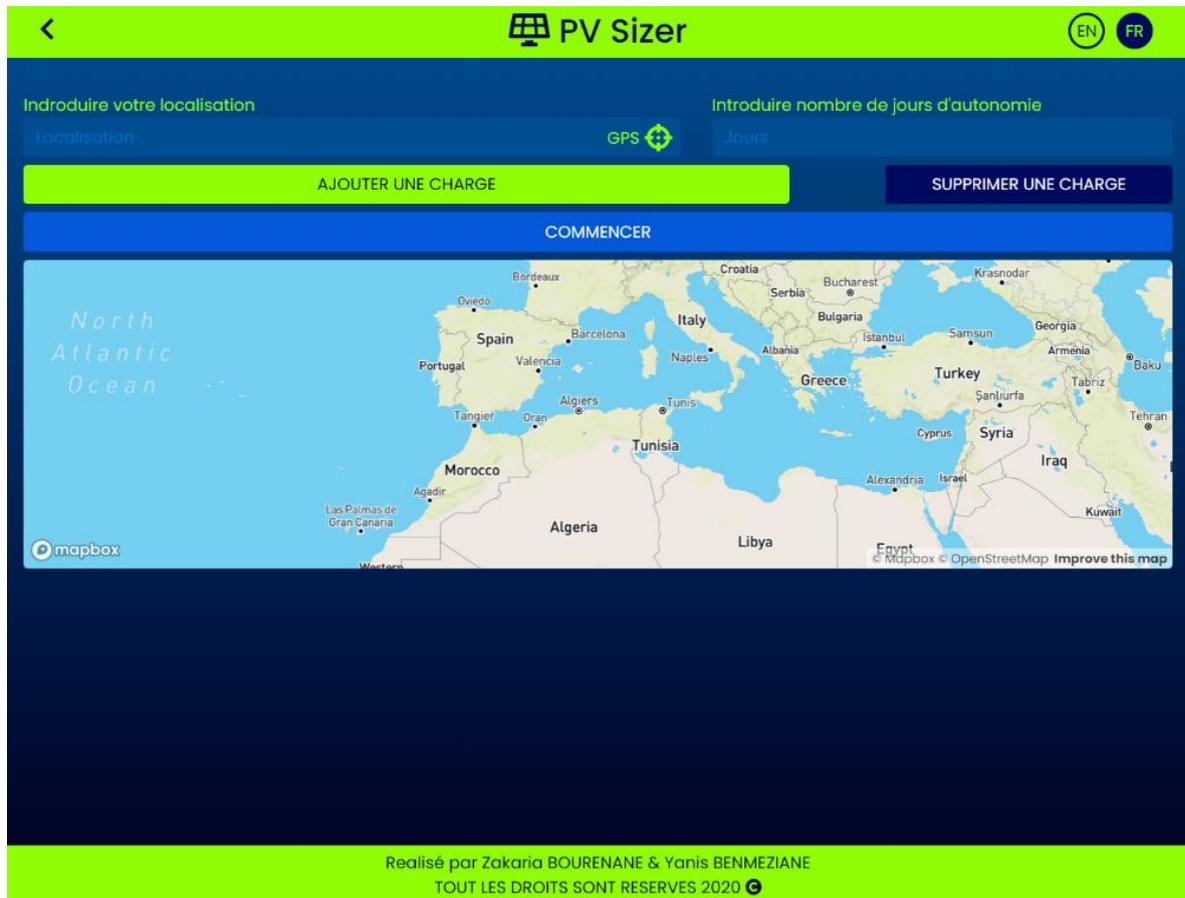


Figure (III.8) : Page de dimensionnement

Dans laquelle on va introduire les informations nécessaires afin d'exécuter le programme en commençant par la localisation soit en insérant le nom du lieu dans la case **Introduire votre localisation** soit en appuyant sur **localisation actuelle** pour choisir notre position actuelle, on va insérer aussi le nombre de jour d'autonomie que on souhaite avoir et cela dans la case **Introduire nombre de jours d'autonomie**

Ensuite on passera à l'insertion de nos charges désirées grâce au bouton **Ajouter une charge** qui va nous présenter sur chaque ligne 3 cases la 1ere pour le nombre de charges du même type, la 2eme pour introduire la puissance de chaque charge et la dernière pour déterminer la durée d'utilisation de chaque charge, on peut introduire autant de charges qu'on souhaite juste en appuyant chaque fois sur le bouton Ajouter une charge comme on peut aussi à chaque fois éliminer la charge qu'on veut grâce au bouton Supprimer une charge

Figure (III.9) : Entrées pour les charges

On remarque aussi juste en bas une carte géographique qui localisera le lieu choisi afin de s'assurer que c'est le même lieu choisi à la fin après avoir introduit toutes ses informations on pourra commencer le dimensionnement en appuyant sur le bouton **Commencer le dimensionnement**

III.5. Principe de fonctionnement de l'interface

Tout d'abords le client doit introduire l'emplacement où il désire réaliser son installation photovoltaïque par exemple (Bejaia) ensuite il va saisir le nombre d'appareil dont il a besoin à faire fonctionner ainsi que la puissance et la durée d'utilisation journalière de chaque appareil par exemple il prend :

Appareil	Nombre	Puissance (W)	Durée (h/jour)
Frigo	2	200	6
TV	2	100	8
Lampe	10	40	6
PC	2	35	5
Microonde	1	600	1
Machine à laver	1	2500	1
Téléphone	4	2	3
Modem	1	8	24

Tableau (III.1) : Les charges

Ajoutant à cela le nombre de jours d'autonomie qui précise combien de jours notre installation peut continuer à alimenter sans aucune source de lumière ce qui signifie aucune production et qui varie généralement selon l'emplacement et les conditions météorologiques. On réduira plus le risque en travaillant avec une autonomie de 3 jours sans apport solaire.

The screenshot shows a web interface for PV system dimensioning. At the top, there are two input fields: 'Introduire votre localisation' with the value 'bejaia' and 'Introduire nombre de jours d'autonomie' with the value '3'. A 'GPS' icon is also present. Below these are two buttons: 'AJOUTER UNE CHARGE' (highlighted in green) and 'SUPPRIMER UNE CHARGE'. The main part of the interface is a table with three columns: quantity, power (W), and autonomy (days). The table contains the following data:

Quantité	Puissance (W)	Autonomie (jours)
2	200	6
2	100	8
10	40	6
2	35	5
1	600	1
1	2500	1
4	2	3
1	8	24

At the bottom of the table is a 'COMMENCER' button.

Figure (III.10) : Les charges dans l'interface

Après ça le client va appuyer sur le bouton commencer le dimensionnement avec une Api et à partir de l'emplacement introduit précédemment on va récupérer les coordonnées géographiques (longitude et latitude) de l'endroit désiré avec lesquelles on va définir l'orientation et l'inclinaison,

Pour l'orientation si l'emplacement se situe dans l'hémisphère nord donc la latitude est positive le champ photovoltaïque sera orienté vers le sud et dans le cas contraire l'orientation vers le nord. Pour l'inclinaison elle dépend de la latitude expliquée dans le tableau ci-dessous [32].

A partir des coordonnées géographiques une autre api va récupérer l'irradiation solaire globale dans le jour le plus défavorable de l'année qui est le 21 décembre pour notre cas (Bejaia) vu qu'elle se situe dans l'hémisphère nord si l'emplacement est dans l'hémisphère sud le jour le plus défavorable de l'année est le 21 juin nos données se réfèrent à l'année 2019.

Avec l'irradiation récupérée et le bilan d'Energie besoin estimé, on aura la puissance crête des panneaux et la capacité de stockage des batteries dont il aura besoin pour faire fonctionner correctement son installation.

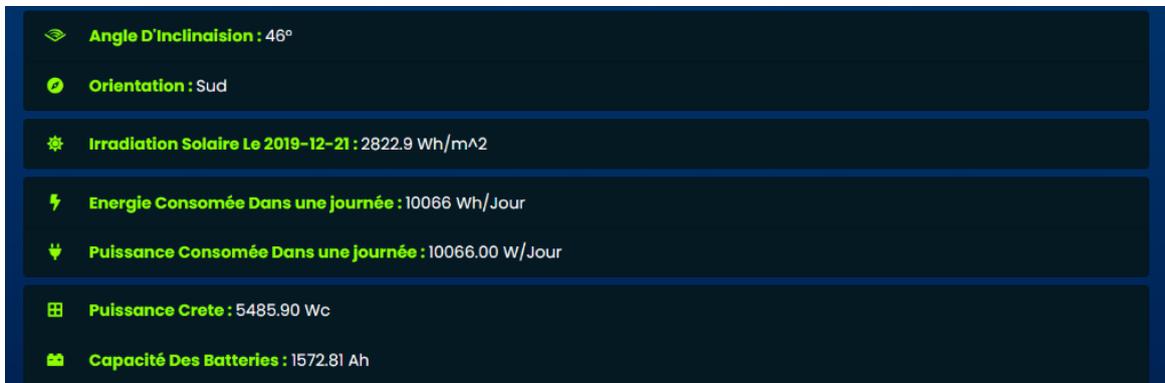


Figure (III.11) : Premiers résultats de l'interface

Le client aura devant lui quelques modèles de panneaux et des batteries les plus utilisées après avoir effectué son choix et l'avoir confirmé, le nombre de panneaux et de batterie dont il aura besoin et la méthode de leur montage ainsi que l'onduleur nécessaire pour son installation lui seront affichés pour notre cas le client aura :



Figure (III.12) : Choisir le modèle des modules et des batteries

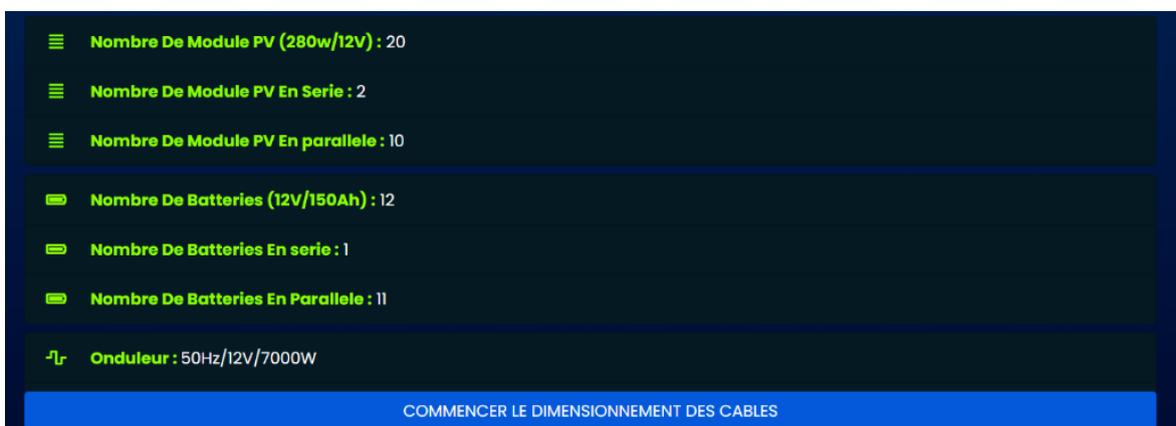


Figure (III.13) : Deuxièmes résultats de l'interface

Ensuite il passera au dimensionnement des câbles, en introduisant la longueur du câble nécessaire pour son installation il aura le type de section du câble qui conviendra avec son montage.

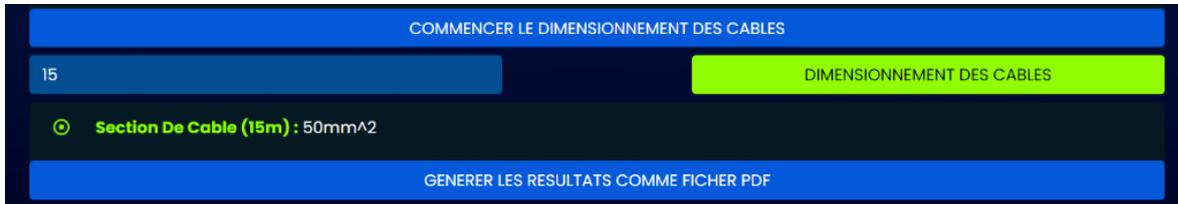


Figure (III.14) : dimensionnement des câbles

Finalement le client pourra avoir un récapitulatif de tous les résultats de son dimensionnement sous forme d'un fichier PDF afin de lui faciliter la tâche de l'achat.



Figure (III.14) : Résultats du dimensionnement sous forme PDF

III.6. Conclusion

Dans ce chapitre on a expliqué la méthode de réalisation de notre interface web et son principe de fonctionnement.

Cette interface est conçue grâce à des différentes technologies informatiques comme le HTML et le JavaScript, ce qu'il nous a permis de simplifier le dimensionnement d'une installation photovoltaïque qui effectue cette tâche d'une manière très facile qui arrange les capacités de tous les niveaux de la société.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Notre travail s'est porté sur le dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome, qui est composé d'un générateur photovoltaïque, de batteries de stockage d'énergie et de convertisseurs d'énergies, destinés à l'alimentation de n'importe quel lieu au monde.

Notre travail a été mené de la façon suivante :

Dans le premier chapitre : nous avons exposé des généralités sur les systèmes photovoltaïques les modules et les cellules leur différents type leurs principes de fonctionnement et tous les facteurs influençant sur leur rendement.

Dans le deuxième chapitre : nous avons présenté le dimensionnement d'un system photovoltaïque en commençant par ses composants et les paramètres et les critères de choix de chaque composant, toutes les conditions nécessaires pour atteindre un bon rendement ainsi que la méthode à suivre pour effectuer le dimensionnement

Dans le troisième chapitre : nous avons fait une description de notre interface web en commençant par citer la différente technologie informatique utilise dans sa réalisation, une illustration de la méthode de manipulation dans cette interface ainsi que son principe de fonctionnement et le rôle qu'elle joue dans la simplification du processus du dimensionnement pour toutes les parties de la société.

D'une manière générale ce travail montre que grâce à nos connaissances dans le domaine photovoltaïque et l'outil informatique nous avons pu faciliter le dimensionnement d'un système photovoltaïque et le rendre accessible pour tout le monde, mais on ne compte pas s'arrêter à ce point-là, on a intérêt a rendre notre interface plus indépendante en calculant le nombre de jours d'autonomie pour chaque lieu introduit grâce au pourcentage de l'opacité des nuages le long des années précédentes et aussi proposer un schéma de montage détaillé à la fin du dimensionnement.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- [1] **Alain Bilbao Ibarreta**, « Réalisation de commandes MPPT Numériques » Rapport de stage Projet Fin d'Etudes Université Rovira Virgili 2006.
- [2] **Dossier technique**, « Eolienne et photovoltaïque ».
- [3] **M.N.Mchaliikh et CH.Hmada**, « Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau », Mémoire de Master Université Kasdi Merbah–Ouargla 2013.
- [4] **M.Blhadj**, « Modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome », Mémoire de Magister Centre Universitaire de Bechar 2007-2008.
- [5] **K. Helali**, « Modélisation d'une cellule photovoltaïque Etude comparative », Mémoire de Magister Université Mouloud Mammeri de Tizi –Ouzou 25/06/2012.
- [6] **M.L.Louazane**, « Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site de Ouargla », Mémoire de Magister Université El Hadj Lakhdar-Batna 16/06/2008.
- [7] **I.Bendjamaa**, « Modélisation et commande d'un système de stockage photovoltaïque », Mémoire de Magister Université Abou-Baker Blkaid-Tlemcen 2011/2012.
- [8] **W.Bensaci**, « Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT », Mémoire de Master Université Kasdi Merbah-Ouargla 2011/2012.
- [9] **H. Boukli**, « Conception et Réalisation d'un Générateur Photovoltaïque Muni D'un Convertisseur MPPT pour une Meilleure Gestion Energétique », Mémoire de Magister Université Abou-Baker Blkaid-Tlemcen 2010/2011.
- [10] **THOMAS Mambrini**, « Caractérisation de panneaux solaires photovoltaïques en conditions réelles d'implantation et en fonction des différentes technologies », Thèse de doctorat, Université PARIS-SUD (16 décembre 2014).
- [11] **MATALLAH Sorya**, « Dimensionnement et simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter un habitat dans la wilaya d'Ouargla », Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah de Ouargla (07/06/2015).
- [12] **ZERROUKI Zolikha et BEREKSI REGUIG Rym**, « Dimensionnement d'un système

- photovoltaïque autonome », Mémoire de master, Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen (2016 / 2017).
- [13] <https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/pedagogiques/831/831-presentation.ppt>
- [14] **BOUKLI-HACENE Omar**, « Conception et Réalisation d'un Générateur Photovoltaïque Muni d'un Convertisseur MPPT pour une Meilleure Gestion Energétique », Thèse de Magister, Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen (Décembre 2011).
- [15] **MISSOUM Mohammed**, « Contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance énergétique de l'habitat à haute qualité énergétique en Algérie », Mémoire de Magister, Université Hassiba BENBOUALI de Chlef (11 décembre 2011).
- [16] **BOUKHLIF Hamza**, « Dimensionnement technique d'une installation photovoltaïque De 300kw », Mémoire de Master, Université M'hamed Bougara de Boumerdes, promotion juin 2017.
- [17] **DHAKER Abbes**, « Contribution au dimensionnement et à l'optimisation des systèmes hybrides éoliens-photovoltaïques avec batteries pour l'habitat résidentiel autonome », Thèse de Doctorat, Université de Poitiers (20 juin 2012), Disponible sur Internet.
- [18] **NDIAYE Modou**, « Conception et optimisation d'un modèle d'électrification hybride raccordé au réseau de distribution de la SENELEC application à la résidence hôtelière MOUNA NDAYANE », Diplôme d'ingénieur de conception (2002/2003).
- [19] **SEMAOUI Smaïl**, « Etude de l'électrification d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque », Mémoire de Magister, Université de Ouargla (23 /06/ 2004).
- [20] <https://www.ecosolaire.com/2017/10/10/l'inclinaison-du-panneau-solaire-photovoltaïque/>
- [21] <https://www.insunwetrust.solar/blog/le-solaire-et-vous/orientation-inclinaison-photovoltaïque/>
- [22] **ZIDANE Ammar**, « Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque au niveau d'un puits de gaz » Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira de Bejaïa (Promotion Juin 2012).
- [23] **BENCHERIF Mohammed**, « Modélisation de systèmes énergétiques photovoltaïques et éoliens intégration dans un système hybride basse tension », Thèse de doctorat,

Université Abou-Bakr Belkaide de Tlemcen.

- [24] **B.ChIKH-BLED, I.SARI-ALI Et B. BENYOUCEF**, Revue Internationale technique, « Méthode de dimensionnement optimal d'une installation photovoltaïque », N° 41 (2010)25- 30 ,Université Abou-BakrBelkaïd, Faculté des Sciences.
- [25] http://bibfac.univ-tlemcen.dz/bibfs/opac_css/doc_num.php?explnum_id=277
- [26] **MERAD Souheyla née MAMOUN**, « Dimensionnement d'une Installation Photovoltaïque d'un lieu peu fréquenté : Cas d'un Cabanon Situé à Marsat Ben M'Hidi (TLEMCEM) », Mémoire de Master, Université Abou-Bakr Belkaidde Tlemcen, 8 Juin 2010.
- [27] **Patrick HOUÉE**, « Une installation photovoltaïque en site isolé », RESSOURCES POUR LES STI2D, forum des technologies, Septembre 2011.
- [28] **IAMARENE Samir** « Dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour un site (BTS, BSC) du réseau télécom watania », Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira de Bejaia (19/09/2012).
- [29] <https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-du-webmastering/1203593-web-definition/>
- [30] <http://glossaire.infowebmaster.fr/>
- [31] <https://www.journaldunet.com/web-tech/developpeur/1159810-bootstrap-definition-tutoriels-astuces-pratiques/>
- [32] <https://www.redhat.com/fr/topics/api/what-are-application-programming-interfaces>
- [33] <https://www.weatherbit.io/about>