

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLAB –BLIDA- 1-
FACULTE DE TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté au DEPARTEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES

Par : BOUCHAITA ABDERRAHMANE

Pour l'obtention du diplôme de :

MASTER EN ENERGIE RENOUVELABLES

OPTION : CONVERSION PHOTOVOLTAIQUE

**THEME : DIMENSIONNEMENT D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE
RACCORDEE AU RESEAU D'UNE MAISON INDIVIDUELLE**

Soutenu le : 20/06/2017

Devant le jury composé :

Dr.H.MAZOUZ	MCB	USBD1	Présidente
M.H.KAHMANE	MAB	USBD1	Examineur
M.O.AIT SAHED	MAB	USBD1	Examineur
Dr.F.CHIKIRED	MRB	UDES	Promotrice

2016-2017

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre de la préparation d'un mémoire de master en énergie renouvelables, CONVERSION PHOTOVOLTAIQUE au Département des énergies renouvelables de l'université Saad Dahlab de Blida 1, sous la direction du Dr.F.chikired que je remercie vivement pour toute l'aide qu'il m'a apportée durant toute la durée de préparation du présent mémoire.

Je tiens également à remercier Mm Souillamas Pour l'aide et les conseils qu'elle m'apport en sa qualité de Co-promotrice du présent travail.

Je tiens également à remercier Mr.Oulami Nassim Pour l'aide et les conseils qu'il m'apport en sa qualité de Co-promoteur du présent travail.

Tout comme je remercie l'ensemble du personnel d'unité d'IFEG (sonelgaz) pour l'aide qu'ils ont apportée durant la préparation du présent travail.

Mes plus vifs remerciements vont au à Dr.h.mazouz pour m'avoir fait l'honneur de présider le jurée de soutenance du présent mémoire.

Le remercie vivement M.O.Aitshed et ; M.H.kahlane pour l'honneur qu'ils m'ont fait en participant au jury en qualité d'examineurs.

Enfin, je souhaite exprimer toute ma gratitude à l'ensemble des enseignements personnes qui ont largement contribué à son aboutissement.

Nomenclature

PV : photovoltaïque.

GPV : générateur photovoltaïque.

V_{co} : Tension en circuit ouvert (Volt).

I_{cc} : Courant de court-circuit (Ampère).

FF: facteur de forme.

I_{mp} : Courant à la puissance maximale (Ampère).

V_{mp} : tension à la puissance maximale (volts).

h: La constante de Planck. Égale à $6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Js}^{-1}$

C : La vitesse de propagation égale à $3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$.

λ : longueur d'onde (nm).

G_h: Irradiation global sur un plan horizontal (KWh/m²).

T_a: Température ambiante (C°).

B_n: Irradiation direct sur un plan incliné (KWh/m²).

CIS : cuivre-indium-sélénium.

MPP : Maximum Power Point.

P_{max} : puissance maximale produit par le module.

P_{in} : puissance incident (solaire).

DC : courant direct.

AC : courant alternatif.

STC : Standard Test Conditions).

P_{DC} : puissance de courant continue.

P_{Ac} : puissance de courant alternatif.

S_{toiture} : surface de toiture.

S_{panneau} : surface de panneau.

Wc : watts crête.

IRM : Courant inverse maxi.

Un : tension nominale.

In : courant nominale.

OND : onduleur.

Cp : coefficient de pertes des équipements

Ne : nombre d'autonomie

Sommaire :

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Gisement solaire et composants d'un système photovoltaïque	
I-1 Introduction	2
I-2 Rayonnement solaire	2
I-2-1 Spectre du rayonnement	4
I-2-2 potentiel solaire algérienne	4
I-2-3 Duré d'insolation de Blida	6
I-3 La conversion photovoltaïques.....	6
I-3-1 Historique	6
I-3-2 L'effet photovoltaïque	7
I-3-3 Le principe de la conversion	8
I-4 La cellule photovoltaïque.....	8
I-4-1 types des cellules photovoltaïque	8
I-4-1-1 cellules multi-jonction.....	8
I-4-1-2 cellules en silicium monocristallin.....	9
I-4-1-3 cellules en silicium poly-cristallin.....	9
I-4-1-4 cellules silicium amorphe en couche mince	9
I-4-1-5 cellules sans silicium en couche mince CIS.....	10
I-4-2 caractéristiques d'une cellule photovoltaïques.....	11
I-4-3 rendements d'une cellule PV	11
I-5 Les différentes configurations des systèmes PV.....	12
❖ Systèmes autonomes	12
❖ Systèmes hybrides	12
❖ Installation direct (Au fil du Soleil)	13
❖ Systèmes photovoltaïques connectés au réseau	13
I-6 Composants d'un système photovoltaïque	14
I-6-1 le module photovoltaïque	14
❖ La protection par diodes parallèles (ou by-pass) ...	14
❖ La protection par diodes série ou (anti-retour)	14
❖ Caractéristiques électriques d'un module photovoltaïque	14
I-6-2 Générateur PV	16
I-6-2-1 association des modules	16
I-6-2-2 Effet du niveau d'éclairement sur le module photovoltaïque	17
I-6-2-3 Effet de la température des cellules sur le module photovoltaïque	18
I-6-2-4 Choix de l'orientation des modules	18
I-6-2-5 Choix de l'inclinaison des modules	18
I-6-3 Onduleur	19
I-6-3-1 Conversion continue –alternatif.....	20
I-6-3-2 Recherche du point de puissance maximum.....	20
I-6-3-3 Protection de découplage de l'onduleur.....	20
I-6-3-4 Performance de l'onduleur photovoltaïque	21
I-6-3-5 Onduleur string	22

I-6-3-6 Onduleur central	23
I-6-3-7 Choix d'un onduleur	23
I-6-4 Divers	23
I-6-4-1 Dispositifs de coupure et sectionnement.....	23
❖ Interrupteur.....	23
❖ Sectionneur.....	23
❖ Interrupteur-sectionneur.....	24
❖ Disjoncteur.....	24
I-6-4-2 Système de protection électrique.....	24
❖ Protection courant continu.....	24
❖ Protection courant alternatif	25
❖ Protection parafoudre.....	25
❖ Mise à la terre	27
I-6-4-3 Câblage électrique	27
❖ Principe de choix des câbles électriques	28
❖ Câble PV	29
❖ La connectique photovoltaïque	30
❖ Les boîtiers de raccordements.....	31
I-6-5 Les différents dispositions des générateurs photovoltaïque.....	31
I-6-5-1 Installations en toitures plates.....	31
I-6-5-2 Installations en façade.....	32
I-6-5-3 Installations en toitures inclinées.....	33
I-7 l'état de l'art	34
I-8 Conclusion	36
Chapitre II : Etude de cas Présentation de logiciel Solar Calc	
II-1 Introduction	37
II-2 Problématique.....	37
II-3 présentation de logiciel	37
❖ Barre d'outils	37
❖ Principes généraux et saisie.....	39
❖ Partie synoptique	39
❖ Panneau de saisie	42
❖ Câble	45
❖ Parafoudres	46
❖ Taux d'irradiation solaire	47
II-4 Conclusion	49
Chapitre III : Simulation et résultats	
III-1 Introduction.....	50
III-2 Pré-dimensionnement	50
III-3 Résultats de la simulation avec le logiciel	55
❖ Générateur photovoltaïque.....	55
❖ Câble de chaîne.....	55
❖ Parafoudre modules PV	56
❖ Câble de groupe	56
❖ Interrupteur	56
❖ Câble principal amont	57
❖ Sectionnement et coupure onduleur.....	57

❖ Parafoudre DC onduleur	57
❖ Câble principal aval.....	58
❖ Onduleur	58
❖ Câble AC onduleur.....	59
❖ Parafoudre AC onduleur.....	59
❖ Câble de raccordement AC aval.....	60
❖ Protection AC onduleur	60
❖ Câble de raccordement AC aval.....	61
❖ Réseau public de distribution	61
❖ Schéma unifilaire.....	62
III-4 Interprétation des résultats	63
❖ Configuration du générateur PV.....	63
❖ Compatibilité GPV/ onduleur.....	63
❖ Analyse du besoin en protections parafoudre.....	64
III-5 Etude technico-économique.....	64
III-6 Conclusion	65

Liste des figures

Figure I-1: Régions à l'intérieur du soleil.....	2
Figure I-2 : Types de rayonnement solaire reçus au sol.....	3
Figure I-3: Analyse spectrale du rayonnement solaire.....	4
Figure I-4 : gisement solaire en Algérie.....	5
Figure I-5 : duré d'ensoleillement mensuel de Blida en heure	6
Figure I-6: l'effet photovoltaïque	7
Figure I-7 : Présentation schématique d'une cellule solaire.....	8
Figure I.8 : cellule photovoltaïque multi jonction	8
Figure I.9 : cellule photovoltaïque monocristalline	9
Figure I.10 : cellule photovoltaïque poly cristalline.....	9
Figure I.11: cellule photovoltaïque amorphe	9
Figure I.12 : cellule photovoltaïque de type cuivre - indium - sélénium (CIS)	10
Figure I.13 : courbe courant-tension d'une cellule PV	11
Figure I.14 : installations autonomes pour site isolé.....	12
Figure I.15: système d'alimentation autonome hybride.....	13
Figure I.16 : systèmes de pompage (au fil du sol).....	13
Figure I.17 : installation photovoltaïque connecte au réseau.....	13
Figure I-18: Constitution d'un module photovoltaïque.....	14
Figure I-19: protection des modules par les diodes anti retour et by-pass.....	15
Figure I-20: Caractéristiques électriques d'un module photovoltaïque.....	16
Figure I-21: Effet du niveau d'éclairement sur le module photovoltaïque.....	17
Figure I-22: Effet de la température des cellules sur le module photovoltaïque.....	18
Figure I-23: Conversion continue –alternatif.....	19
Figure I-24: Recherche du point de puissance maximum (MPPT).....	20
Figure I-25: Protection de découplage de l'onduleur.....	21
Figure I-26: Onduleur string.....	22
Figure I-27: Onduleur central.....	23

Figure I.28 : disjoncteur	24
Figure I.29 : Intérieur d'un coffret de protection courant continu.....	24
Figure I.30 : Intérieur d'un coffret de protection courant alternatif.....	25
Figure I.31 : schéma de la mise à la terre.....	27
Figure I.32 : câble mono conducteur spécifique au PV.....	29
Figure I.33 : connecteur MC3.....	30
Figure I.34 : connecteur MC4 mâle et femelle.....	30
Figure I.35 : Les boîtiers de raccordements.....	31
Figure I.36 : Débit d'air sous et derrière les modules.....	33
Figure II.1 : Type de branchement et de lieu.....	38
Figure II.2 : Graphique de contrôle onduleur /GPV.....	38
Figure II.3 : Catalogue personnalisé.....	38
Figure II.4 : Partie synoptique.....	39
Figure II.5 : Informations sur les éléments.....	40
Figure II.6 : Protection onduleur.....	41
Figure II.7 : Câble principal aval.....	42
Figure II.8 : Protection de groupe	43
Figure II.9 : Repérage protection de groupe	43
Figure II.10 : Informations sur les zones de saisie.....	43
Figure II.11 : Justification des erreurs.....	44
Figure II.12 : Câble de chaîne.....	45
Figure II.13 : Mode de pose.....	45
Figure II.14 : Analyse besoin protections parafoudre.....	46
Figure II.15 : Choix parafoudre de chaîne.....	46

Figure II.16 : Longueur d'antenne des câbles.....	47
Figure II.17 : Taux d'irradiation solaire.....	48
Figure III.1 : plan d'une maison (toiture).....	50
Figure III.2 : Profil de consommation élaboré de la maison pendant une journée en Hiver et une autre en Eté.....	53
Figure III.3 : Disposition verticale.....	54
Figure III.4: Disposition horizontale.....	54
Figure III.5 : Schéma unifilaire.....	62
Figure III.6 : Configuration du générateur PV.....	62
Figure III.7 : Graphique de contrôle onduleur / GPV.....	63

Liste des tableaux

Tableau I-1: les caractéristiques des cellules PV	10
Tableau I-2 : l'Inclinaison et rendement du générateur	18
Tableau I-3 : Avantages et inconvénients de la surimposition de modules sur toiture inclinée.....	34
Tableaux III.1 : Appareils électroménagers de la maison et leurs puissances journalières en hiver.....	51
Tableaux III.2 : Appareils électroménagers de la maison et leurs puissances journalières en été.....	52
Tableau III-3 : type de générateur photovoltaïque utilisé	55
Tableau III-4 : type de câble de chaîne utilisé	55
Tableau III-5 : type de parafoudre DC utilisé.....	56
Tableau III-6: type de câble de groupe	56
Tableau III-7: type d'interrupteur utilisé.....	56
Tableau III-8: type de câble principal on amont	57
Tableau III-9: type d'interrupteur utilisé.....	57
Tableau III-10: type de parafoudre DC utilisé.....	57
Tableau III-11: type de câble principal aval	58
Tableau III-12: type d'onduleur solaire raccordé au réseau	58
Tableau III-13: type de câble AC onduleur	59
Tableau III-14: type parafoudre AC utilisé	59
Tableau III-15: type de câble raccordement AC aval utilisé.....	60

Tableau III-16: type disjoncteur utilisé.....	60
Tableau III-17: type de câble raccordement AC aval utilisé.....	61
Tableau III-18: caractéristique de réseau public de distribution	61

Introduction générale :

Les énergies renouvelables se manifestent comme une solution potentielle à la réduction de la pollution. Parmi les moyens de production prometteurs (éolien, hydraulique...), le photovoltaïque apparaît aujourd'hui comme le plus approprié et le plus abouti à la production d'électricité d'origine renouvelable pour l'habitat. Ajoutons à cela la libéralisation du marché de l'électricité qui introduit des changements majeurs dans le domaine de l'énergie en encourageant la multiplication des producteurs indépendants et des productions décentralisées.

Dans le système électrique actuel, la majorité de l'énergie est injectée à partir des centrales de grandes puissances sur le réseau et une exploitation centralisée permet d'optimiser et gérer la production pour le bénéfice des clients.

Les systèmes photovoltaïques constituent alors une option intéressante pour notre pays, d'où l'élaboration du programme national des énergies renouvelables, dans le cadre de porter une aide à la réalisation de ce programme par ce modeste travail qui consiste à dimensionner un système photovoltaïque connecté au réseau.

Le déroulement de ce mémoire se fera de la manière suivante:

Dans le premier chapitre, nous présenterons premièrement la définition de l'énergie solaire et ses caractéristiques, puis nous nous intéressons à présenter la construction des cellules photovoltaïques et leur principe de conversion ainsi que les différentes technologies des cellules PV, nous présenterons également les différentes configurations des systèmes PV et leurs composants. A la fin du chapitre un résumé des travaux effectués sur notre sujet d'étude sera présenté.

Dans le deuxième chapitre nous allons présenter le logiciel de dimensionnement (solar calc) ainsi que la méthodologie à suivre afin de dimensionner notre installation photovoltaïque connectée au réseau.

Le dernier chapitre consacré à la présentation des étapes de dimensionnement effectué sur le logiciel SOLAR CALC et l'interprétation des résultats obtenus par ce dernier plus une étude technico-économique approximative de l'installation.

I-Introduction :

Dans ce chapitre nous présenterons premièrement la définition de l'énergie solaire et ses caractéristiques, puis nous nous intéressons à présenter la construction des cellules photovoltaïques et leur principe de conversion ainsi que les différentes technologies des cellules PV, nous présenterons également les différentes configurations des systèmes PV et leurs composants. A la fin du chapitre un résumé des travaux effectués sur notre sujet d'étude sera présenté.

I-1 Gisement solaire :

Avant tout développement sur l'énergie solaire, il paraît primordial de donner une brève description de la source de cette énergie.

Le soleil est une sphère de gaz chauffée par les réactions de fusion qui se produisent en son centre [1]. Son diamètre est 1391000km (100 fois celui de la terre), sa masse est de l'ordre de $2 \cdot 10^{27}$ tonnes [2].

Comme indiqué sur la figure I.1 le rayonnement intense de l'intérieur est absorbé par une couche d'ions d'hydrogène près de la surface du soleil, l'énergie est transférée par convection à travers cette barrière et puis réémise par la surface extérieure du soleil, la photosphère [1]. Cela conduit à l'émission d'un rayonnement proche de celui d'un corps noir avec une température de près de 6000K.

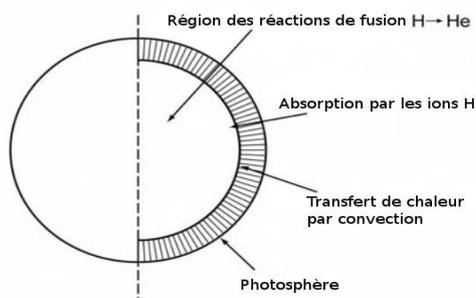


Figure I.1: Régions à l'intérieur du soleil.

I-2 Rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire se compose de radiations électromagnétiques émises par le soleil, dont le spectre s'étend des plus petites longueurs d'ondes (rayons gamma) vers les grandes ondes radioélectriques. Les parties de ce spectre qui jouent un rôle dans l'interaction du rayonnement solaire avec l'environnement terrestre sont essentiellement les bandes infrarouge, visible et ultraviolette, ainsi que la gamme radioélectrique et celles des microondes.

Le rayonnement solaire dit « extraterrestre » c'est à dire hors atmosphère a été évaluée avec précision par la NASA et vaut 1367w/m^2 . Il s'agit de l'irradiante reçue, ou rayonnement solaire instantané à un instant donné au-dessus de l'atmosphère terrestre, en incidence normale (c'est à dire sur un plan perpendiculaire à la direction du soleil).

En effet, quatre types de rayonnement ont été répertoriés dans la littérature :

❖ Le rayonnement direct

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

❖ Le rayonnement diffus

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

❖ Le rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol

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

❖ Le rayonnement global

Le rayonnement global est subdivisé en rayonnements directs, diffus et reflété par le sol.

Dans la figure ci-dessous figure (I-2) est schématisé l'ensemble des rayonnements solaires reçu sur une surface terrestre. [03]

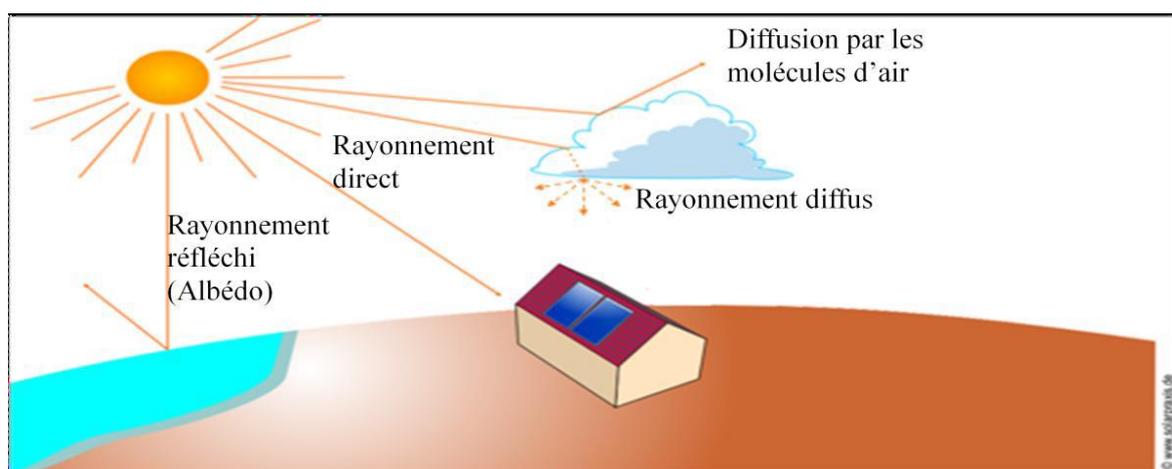


Figure I.2 : Types de rayonnement solaire reçus au sol. [03]

I-2-1 Spectre du rayonnement

Le rayonnement électromagnétique est composé de «grains» de lumière appelés photons. Comme indiquée sur la figure (I-3)

L'énergie de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde λ ; elle est donnée par la formule suivante :

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \dots\dots\dots(1)$$

Où :

h: La constante de Planck. Égale à $6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Js}^{-1}$

C : La vitesse de propagation égale à $3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$.

La figure (I-3) représente la variation de la répartition spectrale énergétique. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement :

- Ultraviolet UV $0.20 < \lambda < 0.38 \mu\text{m}$ 6.4%.
- Visible $0.38 < \lambda < 0.78 \mu\text{m}$ 48.0%.
- Infrarouge IR $0.78 < \lambda < 10 \mu\text{m}$ 45.6%

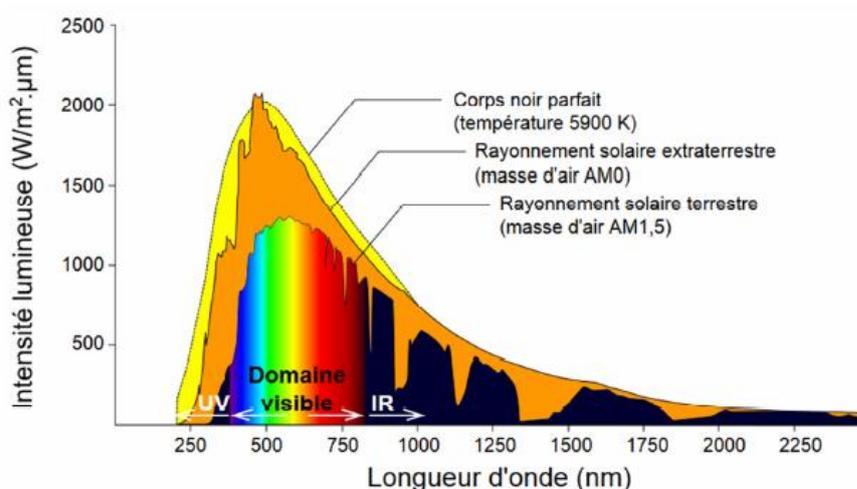


Figure I.3 : Analyse spectrale du rayonnement solaire. [03]

I-2-2 potentiel solaire algérienne :

Le flux lumineux reçu au niveau du sol à un instant donné dépend d'un grand Nombre de paramètres tel que :

- Les caractéristiques physicochimiques des gaz présent dans l'atmosphère.
- La présence des nuages.
- La valeur de l'albédo.

Chapitre I : Gisement solaire et système photovoltaïque raccordé au réseau

- La température ambiante.
- La vitesse et la direction des vents.
- L'humidité relative.

Par ailleurs ces paramètres varient en fonction :

- Du site géographique.
- De la saison.
- De l'heure de la journée.
- Des conditions météorologiques instantanées

Comme elle est présentée dans la figure (I-4).

Moyenne annuelle de l'irradiation Globale reçue sur une surface horizontale, Période 1992-2002

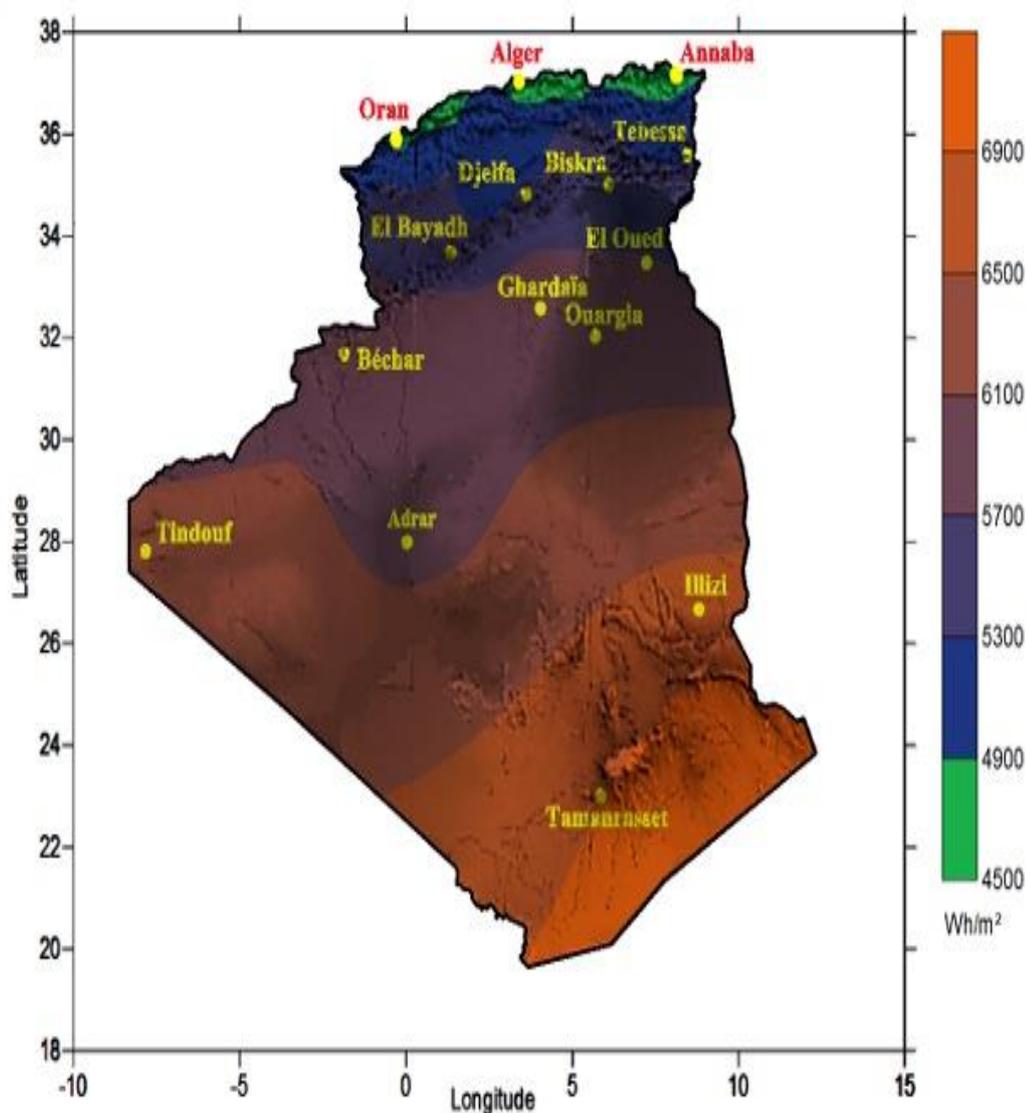


Figure I.4 le gisement solaire en Algérie [18]

I-2-3 Duré d'insolation de Blida :

La figure ci-dessous représente le duré d'ensoleillement et la durée astronomique du jour pour la wilaya de Blida.

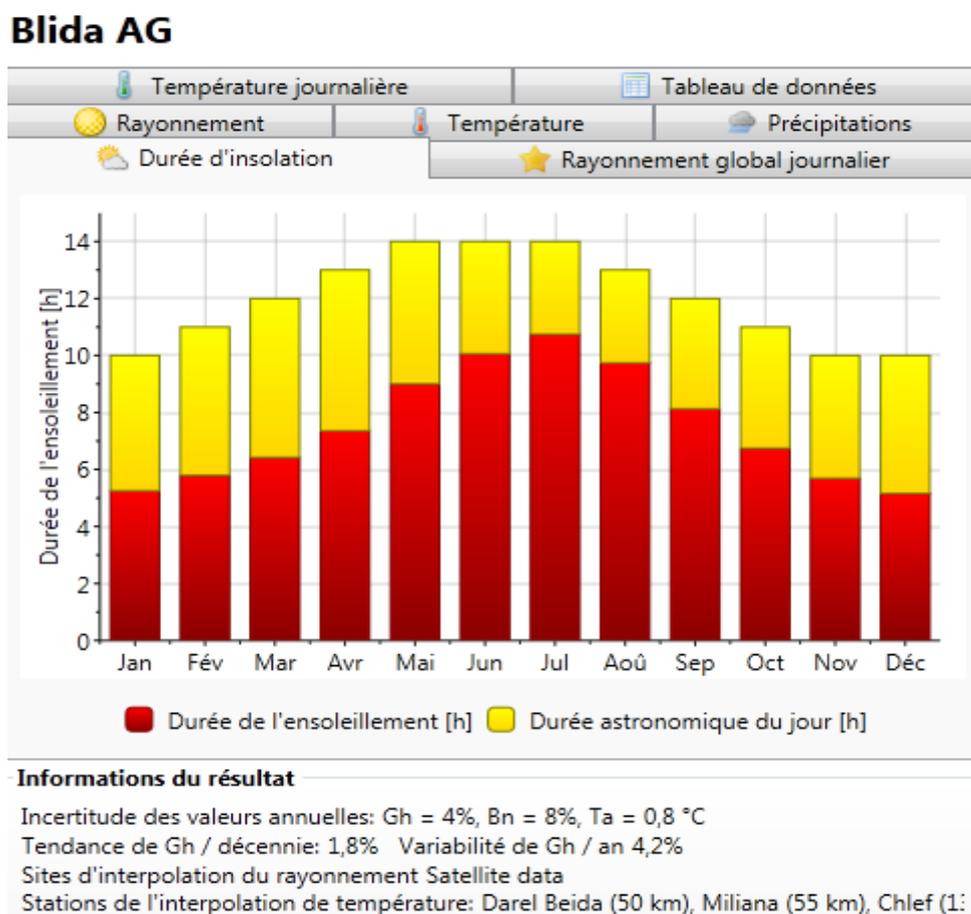


Figure I-5 : duré d'ensoleillement mensuel de Blida en heure [19]

I-3 conversion photovoltaïque :

I-3-1 Historique :

En 1839, Antoine-César Becquerel constate les effets électriques que produisent les rayons solaires dans une pile.

En 1905, Einstein découvre que l'énergie de ces quanta de lumière est proportionnelle à la fréquence de l'onde électromagnétique.

L'utilisation des cellules solaires débute dans les années quarante. Le domaine spatial a besoin d'une énergie sans combustible embarqué. La recherche s'intensifie sur le photovoltaïque. En 1954 est créée par les laboratoires BELL la première cellule

photovoltaïque avec un rendement de 4%. Le spatial devient le banc d'essai de la technologie photovoltaïque. Les coûts de fabrication élevés des cellules et leurs rendements médiocres ne leur permettent pas encore une exploitation à grande échelle. Il faudra attendre les années 70 pour que les gouvernements et les industriels investissent dans la technologie photovoltaïque [10]

I-3-2 l'effet photovoltaïque :

L'effet photoélectrique se caractérise par la production d'un courant électrique entre deux parties en matériaux différents qui sont en contact et exposé à la lumière du soleil, les photons constituant la lumière « attaquent » les atomes exposés au rayonnement. Les électrons des couches électroniques supérieures, appelés aussi électrons de valence ont tendance à être arrachés. Dans les cellules PV, une partie des électrons ne revient pas à son état initial et les électrons « arrachés » créent une tension électrique continue et faible. [10] comme elle est présentée dans la figure (I-6)

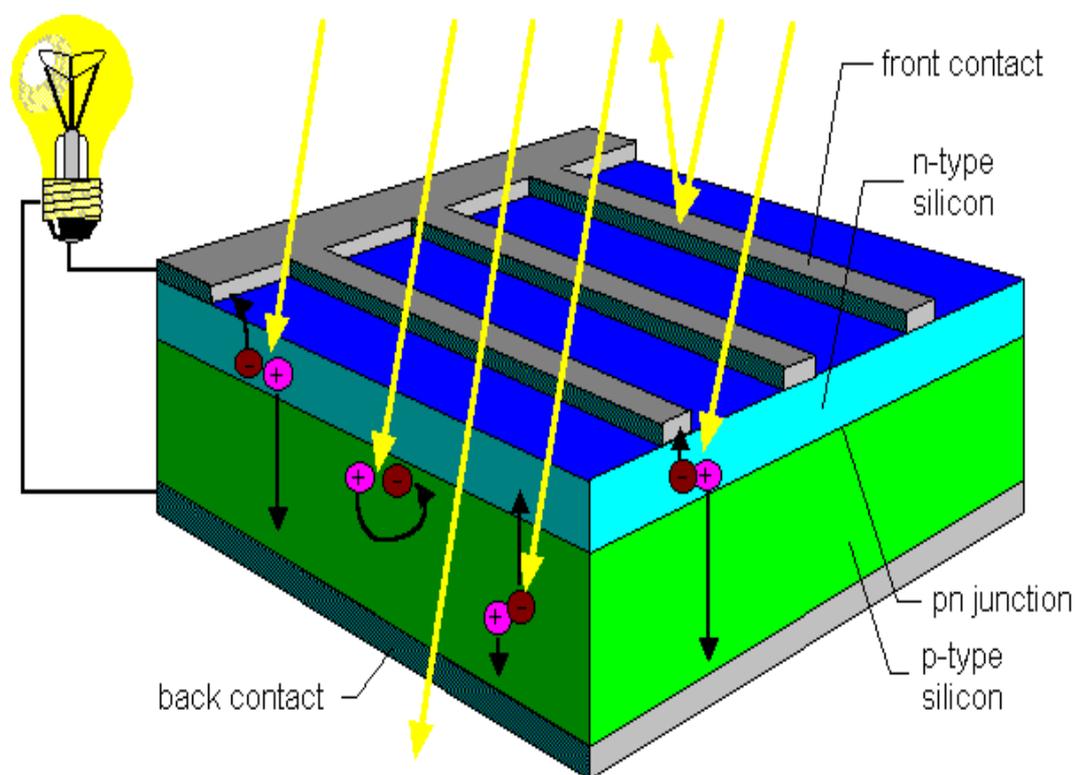


Figure I.6 : l'effet photovoltaïque [10]

I-3-3 principe de la conversion :

Comme elle est présente dans la figure (I-7)

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement.

L'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type P. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau P.

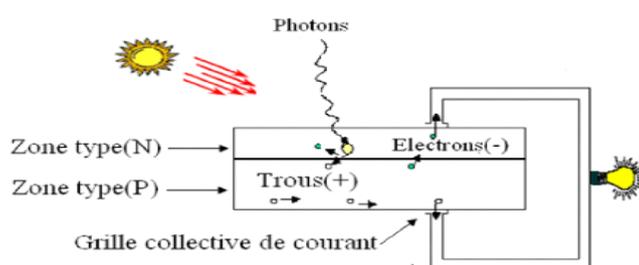


Figure I.7 : Présentation schématique d'une cellule solaire. [10]

I-4 La cellule photovoltaïque :

I-4-1 types des cellules photovoltaïques :

Une cellule individuelle, unité de base d'un système photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 1 à 3 W avec une tension de moins d'un volt. Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module [11]

I-4-1-1 Cellule multi jonction :

Les cellules multi-jonction sont composées de différentes couches qui permettent de convertir différentes parties du spectre solaire et ainsi d'obtenir les meilleurs rendements de conversion. [11]



Figure I.8 : cellule photovoltaïque multi jonction [11]

I-4-1-2 cellule en silicium monocristalline :

Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme. [11]



Figure I.9 : cellule photovoltaïque monocristalline [11]

I-4-1-3 cellule en silicium poly cristallines :

Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Ce genre de cellule est également bleu, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux. [11]

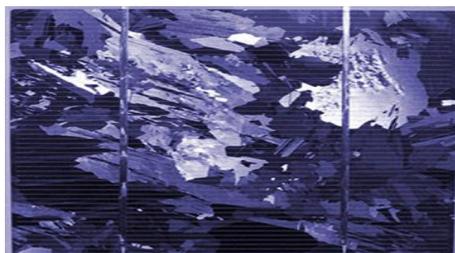


Figure I.10 : cellule photovoltaïque poly cristalline [11]

I-4-1-4 cellule amorphe ou couches minces :

Le silicium lors de sa transformation, produit un gaz, qui est projeté sur une feuille de verre. La cellule est gris très foncé ou marron. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites "solaires". [11]

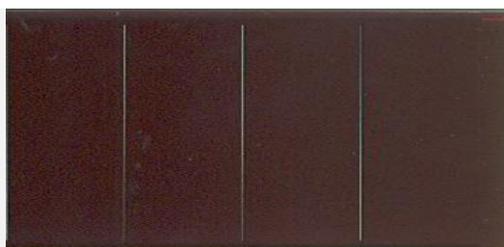


Figure I.11: cellule photovoltaïque amorphe [11]

I-4-1-5 Les cellules amorphes ou couches minces CIS :

Les cellules CIS représentent la nouvelle génération de cellules solaires sous forme de films minces, de type cuivre-indium-sélénium (CIS). Les matières premières nécessaires à la fabrication des cellules CIS sont plus faciles à se procurer que le silicium utilisé dans les cellules photovoltaïques classiques. De plus, leur efficacité de conversion énergétique est la plus élevée à ce jour pour des cellules photovoltaïques en couche mince. [11]

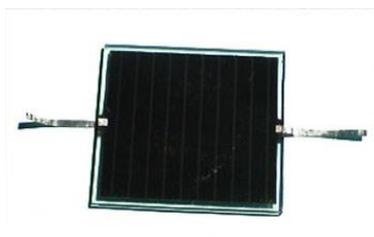


Figure I.12 : cellule photovoltaïque de type cuivre - indium - sélénium (CIS) [11]

Ce tableau représente les caractéristiques des cellules PV

Type de cellules	Silicium Mono Cristallin	Silicium Poly Cristallin	Silicium Amorphe (couche mince)	Cellule CdTe couche mince
Rendement industriel	12-20%	10-15%	5-10%	8-11%
Part de marché	85%		5%	10%
Garantie de puissance	90% de la puissance initiale pendant 10 ans 80% pendant 20 ans environ (selon le constructeur)			
Durée de vie	25-30 ans	25-30 ans	environ 10 ans	>25 ans
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> •Technologie connue et maîtrisée •Bon rendement •Durée de vie 	<ul style="list-style-type: none"> •Technologie connue et maîtrisée •Bon rendement •Durée de vie •Moins cher que la technologie mono-cristalline 	<ul style="list-style-type: none"> •Meilleur marché •Rendement moins affecté par un faible éclairage •Plus souples •Installation plus facile •Moins énergivore •Meilleure résistance à la température 	<ul style="list-style-type: none"> •Bonne résistance à la température •Plus d'absorption de rayonnement diffus que le cristallin
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> •Coûteuse •Rendement faible sous un faible éclairage 	<ul style="list-style-type: none"> •Rendement faible sous un faible éclairage 	<ul style="list-style-type: none"> •Rendement •Durée de vie •Processus industriel pas encore optimal •Moins écologique que le cristallin 	<ul style="list-style-type: none"> •Rendement plus faible que le cristallin •matériau toxique nécessite donc un processus de recyclage complexe •moins d'absorption que l'amorphe •sensible à l'humidité

Tableau I-1: les caractéristiques des cellules PV [11]

I-4-2 caractéristiques d'une cellule photovoltaïques :

Les propriétés électriques de la cellule photovoltaïque sont synthétisées dans un graphe qu'on appelle : **Caractéristique courant-tension**. [13]

- Le **point de puissance maximale MPP** (Maximum Power Point).
- Le **courant de court-circuit** noté I_{cc}
- La **tension en circuit ouvert** notée U_{co}

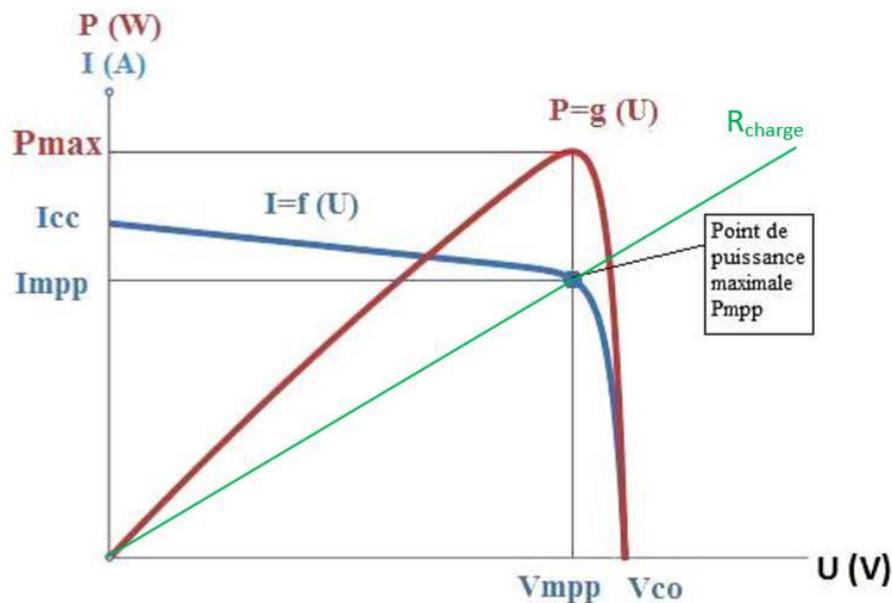


Figure I.13 : courbe courant-tension d'une cellule PV [13]

I-4-3 rendements d'une cellule PV :

Le rendement de la cellule, c'est le rapport de conversion de l'énergie lumineuse vers l'énergie électrique, qui égale au rapport de la puissance maximale de sortie sur la puissance des radiations lumineuses.

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{in}} = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{P_{in}} = \frac{V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF}{P_{in}}$$

I-5 Configuration d'une installation solaire photovoltaïque :

Il existe quatre configurations des systèmes solaire PV dont chacune d'elles dépend du besoin exprimé

❖ Installation autonome pour site isolé :

C'est la configuration la plus courante des systèmes photovoltaïques autonomes que les anglophones appellent stand-alone system.

L'ensemble est plus souvent en courant continu (DC), ce qui est préférable car plus simple .mais dès que l'on touche à l'habitat il y a presque toujours des appareils en courant alternatif (AC) à alimenter.

La batterie d'un système se charge le jour est sert de réservoir d'énergie en permanence, tout comme la citerne d'eau du système de pompage solaire décrit précédemment. [13]

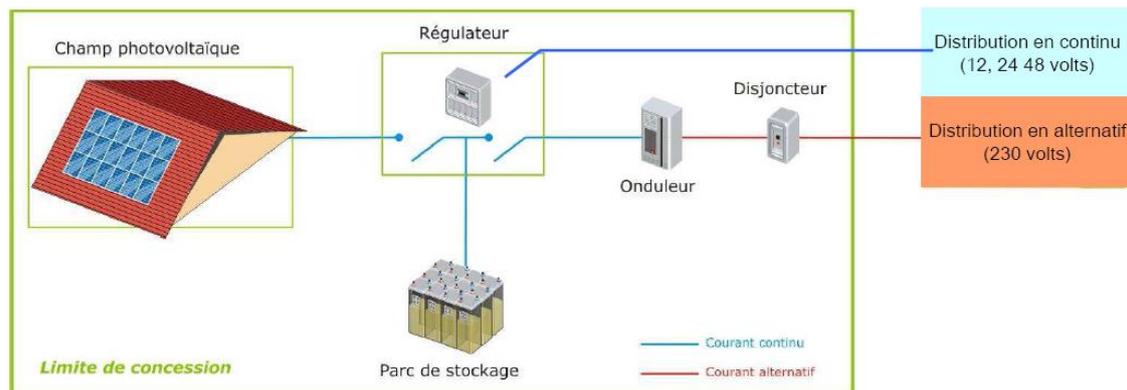


Figure I.14 : installations autonomes pour site isolé

❖ Installation autonome hybride :

Une des limites d'un système autonome purement photovoltaïque, comme on vient de le décrire est qu'il fournit une puissance, mais que l'on ne peut pas dépasser au risque de détruire la batterie par décharge profonde. Or les consommateurs que nous sommes ne sont pas des machines et ont des besoins qui évoluent et pas forcément en phase avec les saisons. [13]

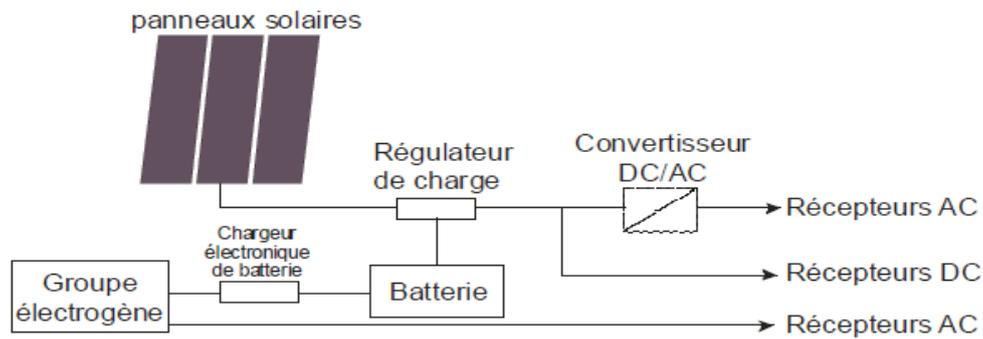


Figure I.15: système d'alimentation autonome hybride

❖ Installation direct (Au fil du Soleil) :

Il s'agit de stocker de l'eau dans un réservoir la pompe solaire est branchée directement sur les panneaux solaires par l'intermédiaire d'un régulateur ou d'un convertisseur. le débit d'arrivée d'eau dans le réservoir est donc directement fonction du rayonnement solaire, d'où l'expression (au fil du sol). [13]

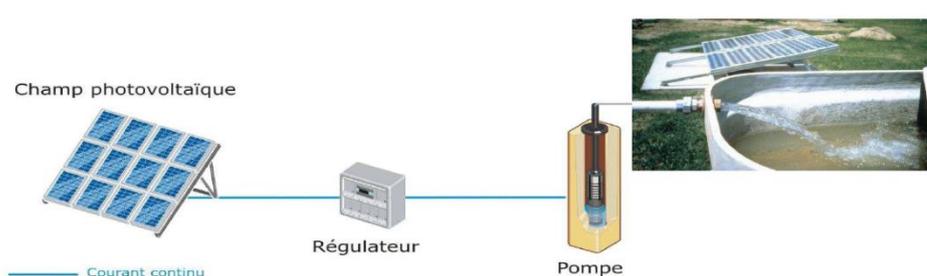


Figure I.16 : systèmes de pompage (au fil du sol)

❖ Installation connectée au réseau :

Pour cette configuration, nous allons nous étaler un peu plus, car c'est l'objectif de notre projet intitulé 'dimensionnement d'un système PV raccordée au réseau d'une maison individuelle.

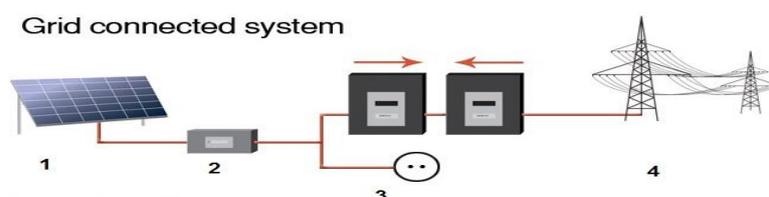


Figure I.17 : installation photovoltaïque connectée au réseau

I-6 Composants d'un système photovoltaïque :

I-6-1 Le module photovoltaïque :

Un module est constitué des cellules associées en série/parallèle encapsulées et protégées de l'humidité par un matériau qui enrobe les cellules c'est le l'Acétate d'éthylène-vinyl (EVA). [12]

La face avant du module doit être en verre qui a les caractéristiques suivantes :

- Bonne transparence.
- Résistance à l'impact et à l'abrasion.
- Etanchéité à l'humidité.
- La face arrière est généralement réalisée soit en verre (modules dits «bi-verre») soit en composite tedlar/alu/tedlar (polyéthylène). [14]

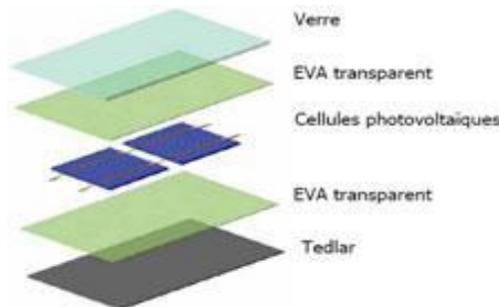


Figure I.18 : Constitution d'un module photovoltaïque. [14]

Le module lui-même doit être protégé afin d'augmenter sa durée de vie en évitant notamment des pannes destructrices liées à l'association des cellules et de leur fonctionnement en cas d'ombrage.

❖ La protection par diodes parallèles (ou by-pass) :

La protection par diodes parallèles (ou by-pass) a pour but de protéger une série de Cellules dans le cas d'un déséquilibre lié à la défektivité d'une ou plusieurs des cellules de cette série ou d'un ombrage sur certaines cellules.

❖ La protection par diodes série ou (anti-retour) :

La diode série placée entre le module et la batterie empêche pendant l'obscurité

Le retour de courant vers le module. Elle est dans ce cas appelée encore diode Anti-retour.

Dans le cas de deux ou plusieurs modules branchés en parallèle, les diodes série empêchent le courant de traverser le module qui devient récepteur. [12]

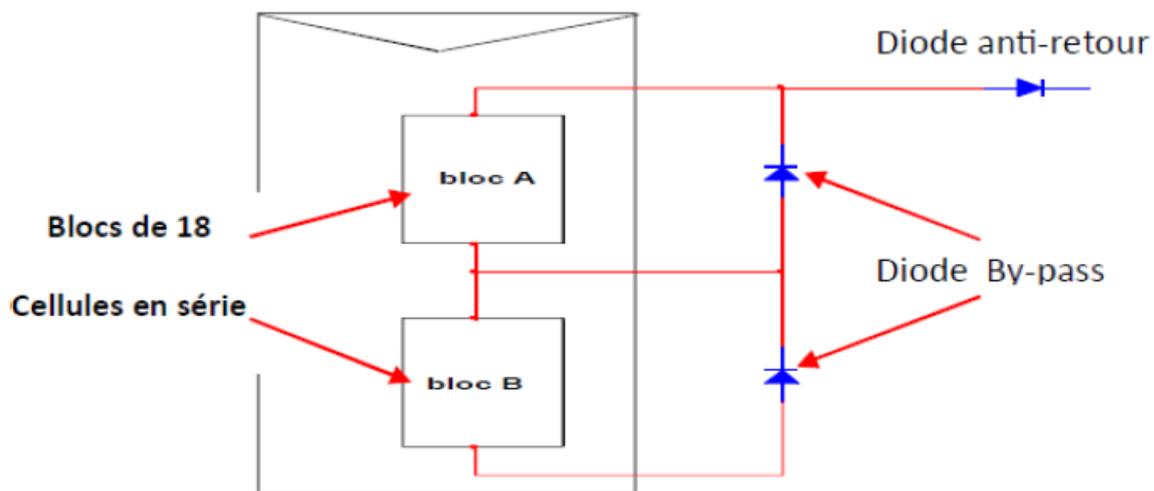


Figure I.19 : protection des modules par les diodes anti retour et by-pass [14]

❖ Caractéristiques électriques d'un module photovoltaïque :

Sous un éclairement donné, toute cellule photovoltaïque est caractérisée par une courbe courant-tension (I-V) (figure I-20) représentant l'ensemble des configurations électriques que peut prendre la cellule. Trois grandeurs physiques définissent cette courbe:

- Sa tension à vide (V_{oc}) : Cette valeur représenterait la tension générée par une cellule éclairée non raccordée.
- Son courant court-circuit: I_{cc} . Cette valeur représenterait le courant généré par une cellule éclairée raccordée à elle-même.
- Son point de puissance maximal: MPP (en anglais : *maximal power point*) obtenu pour une tension et un courant optimaux : V_{opt} , I_{opt} (parfois appelés aussi V_{mpp} , I_{mpp})

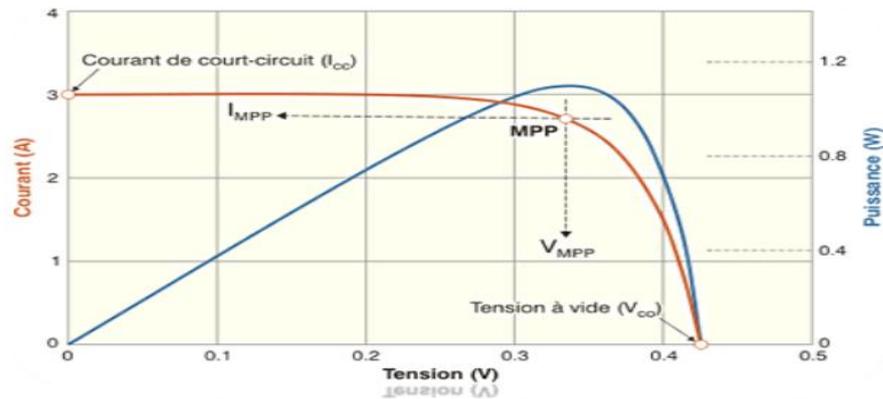


Figure I.20 : Caractéristiques électriques d'un module photovoltaïque

Remarque : Pour permettre une comparaison de l'efficacité de différentes cellules, on définit ces caractéristiques dans des conditions de test bien précises (STC = Standard Test Conditions). Ces conditions sont : émission lumineuse de $1\,000\text{ W/m}^2$, température de $25\text{ }^\circ\text{C}$.

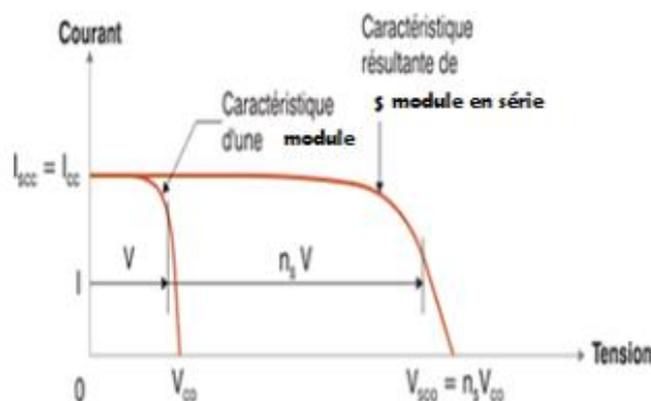
I-6-2 Générateur PV :

Le générateur PV est composé de plusieurs modules montés en premier lieu en série pour augmenter la tension en suite en parallèle pour augmenter la puissance (courant)

I-6-2-1 association des modules :

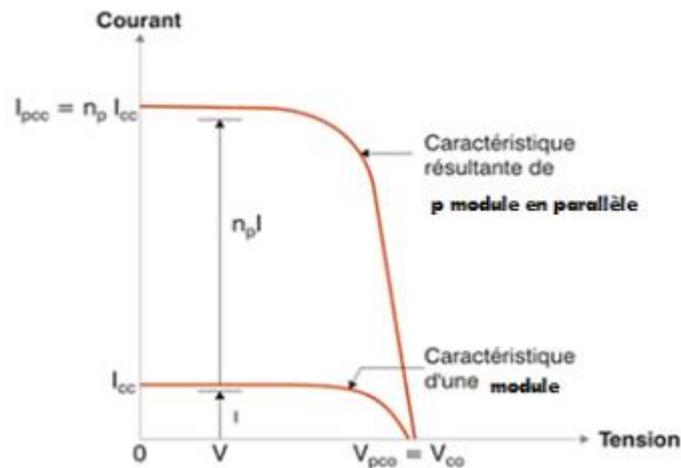
- en série

Par association en série (appelée "String"), les modules sont traversés par le même courant et la tension résultante correspond à la somme des tensions générées par chacune des modules.



- en parallèle

Par association en parallèle, les modules sont traversés par la même tension et le courant résultant correspond à la somme des courants générés par chacune des modules. Comme indiquée ci-dessous



I-6-2-2 Effet du niveau d'éclairement sur le module photovoltaïque :

L'éclairement correspond à l'intensité lumineuse captée par le module photovoltaïque, et se mesure en W/m^2 . La nuit, l'éclairement est nul ($0 W/m^2$). L'éclairement varie au cours de la journée entre 0 et $1\ 000 W/m^2$ (valeur maximum), en fonction de l'état du ciel. Comme la figure présentée ci-dessous.

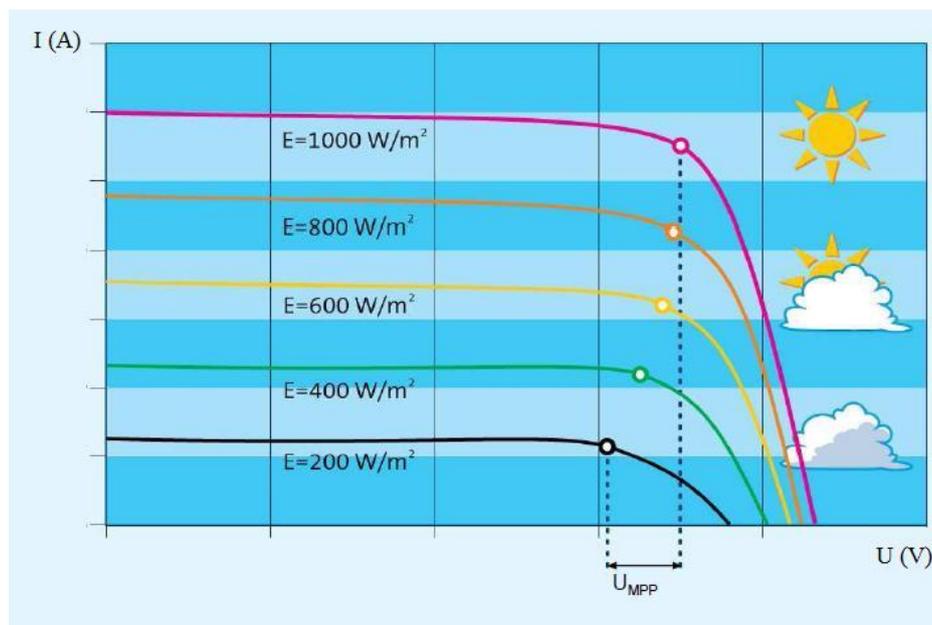


Figure I.21 : Effet du niveau d'éclairement sur le module photovoltaïque

I-6-2-3 Effet de la température des cellules sur le module photovoltaïque :

La température du module a une forte influence sur la tension à vide du module. Plus la température du module n'augmente, plus la tension à vide V_{co} diminue. Par contre, la température du module influence très peu le courant de court-circuit I_{cc} . Comme la figure présentée ci-dessous.

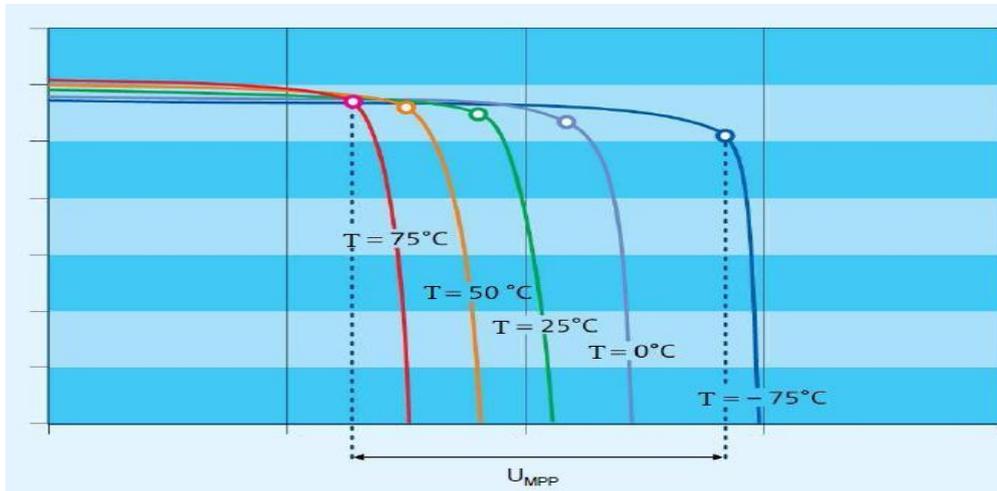


Figure I.22 : Effet de la température des cellules sur le module photovoltaïque

I-6-2-4 Choix de l'orientation des modules :

L'orientation des modules doit être plein sud pour les sites de l'hémisphère Nord et plein nord pour les sites de l'hémisphère sud.

I-6-2-5 Choix de l'inclinaison des modules :

Pour que les modules produisent un maximum d'énergie, il faut que leur surface soit perpendiculaire aux rayons solaires.

Le tableau ci-dessous représente les facteurs de correction pour une orientation données

FACTEURS DE CORRECTION POUR UNE INCLINAISON ET UNE ORIENTATION DONNEES					
INCLINAISON		0°	30°	60°	90°
ORIENTATION		0°	30°	60°	90°
Est		0,93	0,90	0,78	0,55
Sud-Est		0,93	0,96	0,88	0,66
Sud		0,93	1,00	0,91	0,68
Sud-Ouest		0,93	0,96	0,88	0,66
Ouest		0,93	0,90	0,78	0,55

: position à éviter si elle n'est pas imposée par une intégration architecturale

NB : ces chiffres n'incluent pas les possibles masques qui pourraient réduire la production annuelle.

source Hesput

Tableau I-2 : l'Inclinaison et rendement du générateur

I-6-3 Onduleur :

Un onduleur photovoltaïque doit remplir plusieurs fonctions essentielles dans une installation photovoltaïque raccordées au réseau :

- La conversion du courant et de la tension continus en courant et tension alternatifs compatibles avec le réseau.
- La recherche du point de puissance maximum du champ photovoltaïque.
- La protection de découplage.
- Le contrôle de l'isolement de la partie CC de l'installation photovoltaïque.

I-6-3-1 Conversion continue –alternatif :

Dans une installation photovoltaïque raccordée au réseau, l'onduleur occupe une place centrale. Il va transformer le courant et la tension continus, délivrés par le champ photovoltaïque, en un courant et une tension alternatifs compatibles avec le réseau. On distinguera donc toujours la partie continue notée CC (Courant Continu), en amont de l'onduleur, et la partie alternative notée CA (Courant Alternatif), en aval de l'onduleur. [15] comme la figure I-23 présentée ci-dessous .

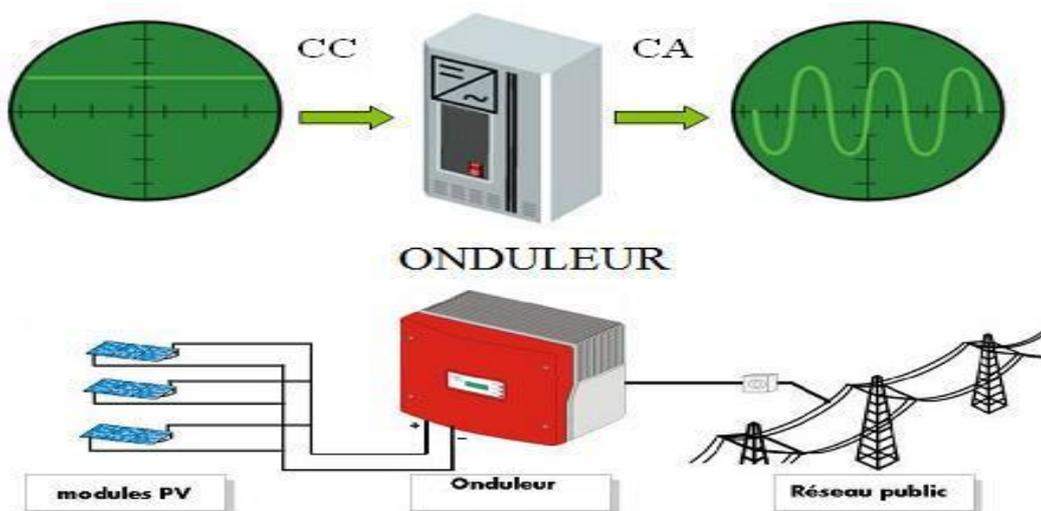


Figure I.23: Conversion continue –alternatif

I-6-3-2 Recherche du point de puissance maximum :

Un groupe photovoltaïque présente un point de puissance maximum, c'est-à-dire un couple courant-tension (I, U) dont la puissance associée $P=U \times I$ est maximum. Ce couple (I, U) définit un point de fonctionnement appelé point de puissance maximum, noté aussi MPP (abréviation anglaise de Maximum Power Point).

Afin d'exploiter le maximum de puissance du champ photovoltaïque, des dispositifs électroniques sont intégrés aux onduleurs afin de rechercher le point de puissance maximum d'un ensemble de chaînes photovoltaïques. On appelle ces dispositifs communément des MPPT pour l'abréviation anglaise de Maximum Power Point Tracker (en français : poursuite du point de puissance maximale). Le principe du MPPT est d'adapter l'impédance (résistance) d'entrée afin de caler le point de fonctionnement du champ photovoltaïque sur le point de puissance maximale. On tire ainsi un maximum de puissance du champ photovoltaïque. [15]

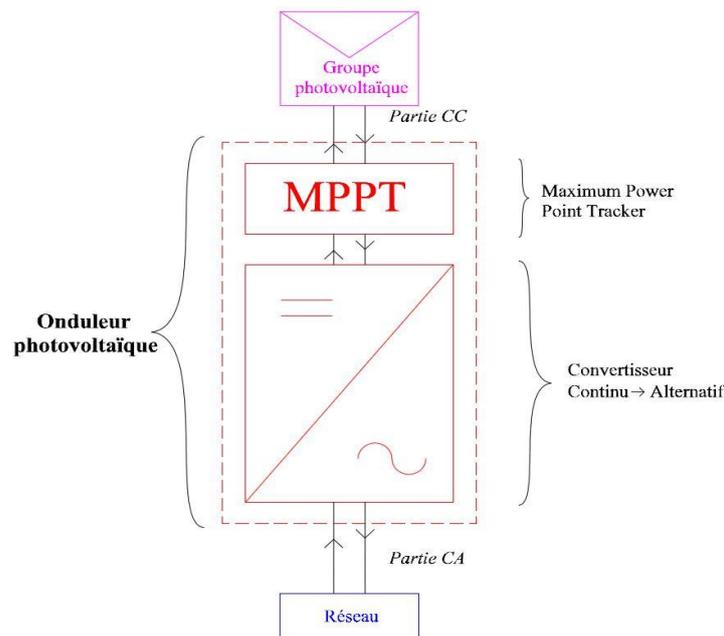


Figure I.24 : Recherche du point de puissance maximum (MPPT).

I-6-3-3 Protection de découplage de l'onduleur :

Tout producteur d'électricité, quel qu'en soit l'origine, au droit d'injecter l'énergie électrique au réseau, à condition qu'il n'en résulte aucune entrave au bon fonctionnement.

(De la distribution)

Il est en outre requis une protection particulière dite « protection de découplage », dont le but est d'interrompre le fonctionnement de l'unité de production lors d'un défaut sur le réseau.

La protection de découplage a donc pour objet, en cas de défaut sur le réseau de :

- Eviter d'alimenter un défaut et de laisser sous tension un ouvrage électrique défaillant.
- Ne pas alimenter les autres installations raccordées à une tension ou à une fréquence anormale.
- Arrêter l'injection d'électricité dans le réseau lors des travaux de maintenance du réseau. [15]

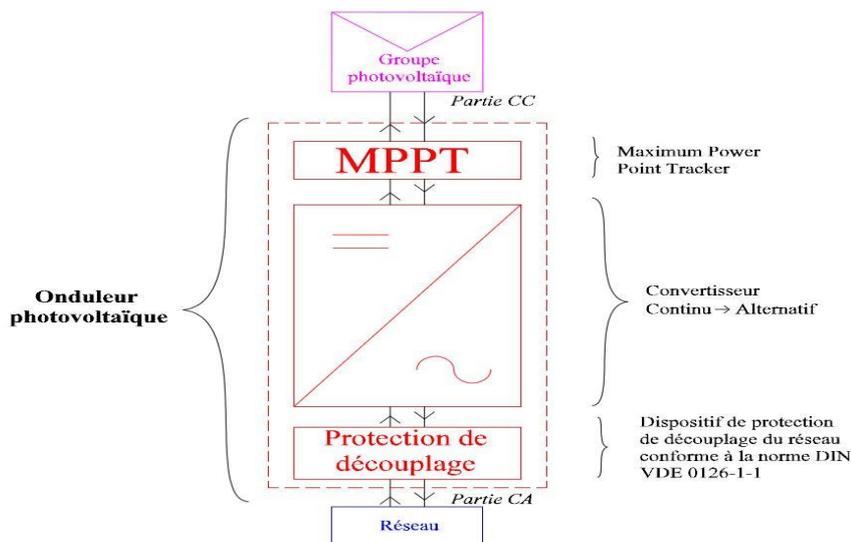


Figure I.25 : Protection de découplage de l'onduleur.

I-6-3-4 Performance de l'onduleur photovoltaïque :

❖ Rendement de l'onduleur photovoltaïque

Le rendement exprime l'efficacité de l'onduleur.

- Rappelons que l'onduleur convertit un courant et une tension continus en un courant et une tension alternative.

Cette conversion s'effectue grâce à des composants électriques qui chauffent (diodes, condensateurs, etc.).

Une partie de la puissance continue en entrée de l'onduleur est donc dissipée sous forme de chaleur.

On définit alors le rendement de l'onduleur comme le rapport de la puissance de sortie (alternative) sur la puissance d'entrée (continue) :

$$\eta = \frac{\text{Puissance en sortie}}{\text{Puissance en entrée}} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}}$$

- La puissance continue est tout simplement le produit du courant et de la tension délivrés par le groupe photovoltaïque en entrée de l'onduleur : $P_{DC} = U_{DC} \times I_{DC}$.

De même, la puissance alternative est le produit de la tension et du courant fournis par l'onduleur en sortie de celui-ci : $P_{AC} = U_{\text{eff, AC}} \times I_{\text{eff, AC}} \times \cos \varphi$. [15]

I-6-3-5 Onduleur string :

L'onduleur_string se connecte à un ensemble de modules branchés en série appelé string(en général par série d'une dizaine). L'onduleur peut avoir plusieurs entrées et donc se connecter à plusieurs dizaines de modules. Il permet la gestion indépendante de la puissance de chaque string. Chaque générateur photovoltaïque peut comporter plusieurs onduleurs strings. Ainsi, Il est généralement utilisé pour les installations de 1kWc à 100kWc



Figure I.26 : Onduleur string.

I-6-3-6 Onduleur central :

L'onduleur central se connecte à plusieurs centaines de modules. Du fait de cette solution centralisée, le coût aux Wc de l'installation est réduit et la maintenance est facilitée grâce à des moyens de supervision adaptés. Aussi, dans le cas de grosse centrale photovoltaïque, la gestion du réseau est simplifiée. L'onduleur central est généralement utilisé pour les installations supérieures à 100kWc. [15]



Figure I.27: Onduleur central.

I-6-3-7 Choix d'un onduleur :

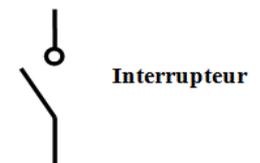
Le type d'onduleurs à utiliser dépend des paramètres d'installation et de branchement des modules photovoltaïques : branchement en série ou en parallèle, degrés d'inclinaison différents entre les modules, tension de sortie de l'installation, flux lumineux général, écart de puissance entre les modules.

I-6-4 Divers :

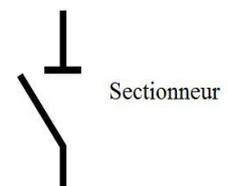
I-6-4-1 Coupure et sectionnement :

Dans une installation photovoltaïque, il est indispensable de pouvoir de couper le courant, afin d'effectuer par exemple des opérations de maintenance.

❖ **Interrupteur** : Appareil mécanique de connexion
Capable de couper le courant nominal

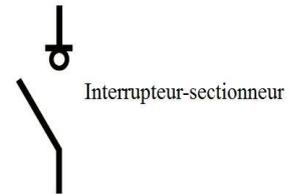


❖ **Sectionneur** :
Appareil mécanique de connexion qui satisfait, en position d'ouverture, aux prescriptions spécifiées pour la fonction de sectionnement



❖ Interrupteur-sectionneur

Interrupteur qui, dans sa position d'ouverture, satisfait aux Conditions d'isolement.



❖ Disjoncteur

est un dispositif électromécanique, voire électronique, de protection dont la fonction est d'interrompre le courant électrique en cas d'incident sur un circuit électrique. Il est capable d'interrompre un courant de surcharge ou un courant de court-circuit dans une installation. Suivant sa conception, il peut surveiller un ou plusieurs paramètres d'une ligne électrique.



Figure I.28: Disjoncteur

I-6-4-2 Système de protection électrique :

❖ Protection courant continu :

Une protection courant continu est exigée en amont de l'onduleur. Il est donc placé entre les modules photovoltaïques et l'onduleur. Il comporte au minimum un dispositif de coupure et de sectionnement général DC sur la liaison principale.



Figure I.29 : Intérieur d'un coffret de protection courant continu.

❖ Protection courant alternatif :

Une protection courant alternative est exigée en aval de l'onduleur. Il est donc placé entre l'onduleur et le réseau de distribution. Il comporte au minimum un dispositif de coupure et de sectionnement général AC sur la liaison principale.

Chaque onduleur nécessite l'installation d'un disjoncteur différentiel.

La protection des biens et des personnes notamment contre les surtensions atmosphériques (la foudre) exigent également l'installation de parafoudres AC. [15]

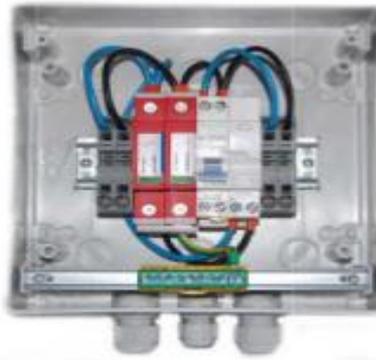


Figure I.30 : Intérieur d'un coffret de protection courant alternatif.

Evaluation du risque foudre :

La présence ou non de parafoudre côté CC dépend du risque d'exposition à la foudre de l'installation. Ce risque s'évalue notamment grâce à la densité de foudroiement du lieu considéré.

❖ Protection parafoudre :

Le type 1 : Admet des chocs de foudre proches, voire directs ; le parafoudre de type 1 ne suffit pas à protéger les matériels électroniques fragiles, et doit être complété en aval par des parafoudres de type 2.

Le type 2 : N'admet que des chocs plus faibles ; idéalement, il doit donc être utilisé en complément d'un parafoudre de type 1 placé en amont ; mais il peut aussi être placé "en première ligne" sur des sites peu exposés.

Le type 3 : Est une protection admettant des courants de choc encore plus faibles, mais il fournit un bas niveau de protection (on rencontre le terme de protection fine, ou protection terminale) ; il est utilisé en aval de parafoudres

de type 2, soit pour la protection d'un équipement particulièrement fragile ou stratégique, soit pour la protection d'une partie de l'installation trop éloignée de la protection amont. [15]

- **Le nombre de modules en série (M)**

Dans une chaîne photovoltaïque, plusieurs modules photovoltaïques sont connectés en série afin d'obtenir la tension DC souhaitée. Ces tensions sont d'autant plus élevées que le nombre de modules en série M est important.

- **Le nombre de chaînes en parallèle (N) :**

Jusqu'à 3 chaînes en parallèle ($N \leq 3$), une protection contre les surintensités n'est pas nécessaire. A partir de 4 chaînes en parallèle ($N \geq 4$), le courant de surintensité, bien que restant faible, peut chauffer les câbles ou endommager les modules photovoltaïques, et doit donc être éliminé par la présence de fusible sur chaque chaîne.

- **Le courant de court-circuit de la chaîne (dans les conditions de test STC) I_{cc} :**

Le calibre des fusibles doit être compris entre 1.5 et 2 fois le courant I_{cc} .

- **La tension en circuit ouvert de la chaîne (dans les conditions de test STC) V_{co} :**

La tension de fonctionnement d'un fusible doit être 1.15 fois la tension à vide de la chaîne ($1.15 \times V_{co} \times M$). [15]

Compatibilité avec l'onduleur

Les onduleurs produisent naturellement un courant résiduel notamment lors de leur mise en fonctionnement (le matin au lever du soleil). Ces courants résiduels peuvent déclencher le dispositif différentiel de façon indésirable.

Généralement les onduleurs génèrent ce type de courant résiduel pouvant atteindre 10mA par KW exemple, un onduleur de 10KW peut produire un courant de 100 mA conviendra, dans ce cas, d'installer un dispositif différentiel dont la sensibilité est supérieur à 100 mA. [15]

❖ Mise à la terre :

La mise à la terre consiste à relier à une prise de terre, par un fil conducteur, les masses métalliques des équipements qui risquent d'être mises accidentellement en contact avec le courant électrique par suite d'un défaut d'isolement dans un appareil électrique.

D'une part la mise à la terre permet d'écouler les courants de fuite sans danger.

D'autre part, en association avec un dispositif de coupure automatique (disjoncteur différentiel), elle assure la mise hors tension de l'installation électrique (figure).

En générale, sont utilisés un ou plusieurs piquets enfoncés verticalement au-dessous du niveau permanent d'humidité à une profondeur minimale de 2m. Il peut être utilisé soit des tubes en acier galvanisé de 25mm de diamètre, soit des profilés en acier doux galvanisé de 60mm, soit des barres de cuivre ou d'acier de 15mm de diamètre. [16]



Figure I.31 : schéma de la mise à la terre.

I-6-4-3 Câblage électrique :

Pour que le système puisse fonctionner normalement, le réseau de câblage doit satisfaire certaines conditions :

- Permettre un contrôle et un dépannage facile et rapide.
- Utiliser des sections de câbles adaptées aux courants débités.
- Utiliser des longueurs des câbles électriques équivalentes afin de limiter les déséquilibres.
- Utiliser des fils de section suffisante pour ne pas introduire de résistances série.

- Disposer les modules ou les panneaux de telle sorte que les longueurs des câbles de liaison soient à peu près équivalentes pour éviter les déséquilibres.
- L'étanchéité des boîtiers de connexion devra être soignée au maximum pour éviter une corrosion extérieure pouvant occasionner des résistances séries non négligeables.
- Utiliser des diodes entre les panneaux pour empêcher ceux qui sont à l'ombre de prendre du courant aux autres, ce qui peut les endommager.

❖ Principe de choix des câbles électriques

Il est nécessaire de limiter la longueur des liaisons 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 assez élevé ($P=U.I$ si U est faible, I est élevé). Le transport à distance de ce courant de plusieurs ampères implique inévitablement des pertes en ligne importantes par échauffement (effet joule).

Ces pertes sont, pour chaque circuit de récepteurs :

- Proportionnelles au carré de l'intensité
- Proportionnelles à la longueur des câbles électriques
- Inversement proportionnelles à la section des câbles.

La chute de tension occasionnée par les pertes en ligne s'établit, pour chaque circuit de récepteurs, au moyen des formules :

$$U = R * I \text{ et } R = \rho * L / S$$

U : Chute de tension (en volt),

I : Intensité traversant le circuit étudié (en ampère),

R : Résistance du câble (en ohm),

ρ : Résistivité du conducteur constitutif, (en Ωm)

L : longueur du câble en m,

S : section du câble en m^2 .

Les pertes dans les câbles sont inévitables, mais il convient de les réduire au maximum afin de rester dans des choix de section 'acceptable'.

Pour simplifier ce calcul, il existe des abaques pour choisir la section de conducteurs.

On considère que les pertes de tension ne doivent pas excéder un faible pourcentage

(de 1 à 3 %) pour une tension de 12 V. ceci correspond au maximum à 0.36 V de chute de tension (ce qui est loin d'être négligeable pour le photovoltaïque).

On peut accepter pour une autre solution visant à réduire le courant dans le circuit, en adoptant une tension plus élevée ($P=U I$) donc si on choisit U plus grande I sera réduit. En règle générale, on conserve le 12 V pour les générateurs inférieurs à 100 Wc, et l'on adopte plutôt le 24 V pour les applications domestiques de plus grande puissance [16].

- Une installation photovoltaïque comprend plusieurs types de câble en fonction des contraintes électriques ou extérieure. Le câblage entre les modules photovoltaïques et l'onduleur intègre une connectique particulière pour éviter les risques de chocs électriques pendant l'installation. Enfin toutes les parties métalliques d'une installation photovoltaïque sont interconnectées et reliées à la même prise de terre.

❖ Câble PV :



Figure I.32: câble mono conducteur spécifique au PV

Les câbles reliant les modules au coffret de protection courant continu sont spécifiques au photovoltaïque et ses contraintes. Les câbles utilisés sont communément appelés câble PV. Ce sont des câbles mono conducteurs en cuivre ou en aluminium d'isolement équivalent à la classe II.

Les câbles doivent respecter les caractéristiques suivantes :

- Isolant de type C2 non propagateur de la flamme
- Température admissible sur l'âme d'au moins 90°C en régime permanent

- Stabilité aux UV répondant à la condition d'influence AN3
- Tension assignée du câble (U_0/U) compatible avec la tension maximum U_{COMAX}

Les câbles pouvant être utilisés dans les installations photovoltaïques sont spécifiés dans le guide UTE C32-502.

❖ La connectique photovoltaïque



Figure I.33 : connecteur MC3



Figure I.34 : connecteur MC4 mâle et femelle

Une connectique débrochable spécifique au photovoltaïque est utilisée sur la partie courant continu (modules photovoltaïques, boîtes de jonctions, coffret DC, onduleurs) pour faciliter l'installation et réduire les risques de chocs électrique. L'installation de ces connecteurs sont obligatoires lorsque la tension U_{OCMAX} entre chaque module PV et à l'extrémité de chaque chaîne PV est supérieure à 60V.

Les connecteurs doivent être :

- spécifiés pour le courant continu et dimensionnés pour des valeurs de tensions et courants identiques ou supérieures à celles des câbles qui en sont équipés.
- assurer une protection contre les contacts directs
- être de classe II
- résister aux conditions extérieures (UV, humidité, température)
- conformes à la norme NF EN 50521

Dans la pratique, des connecteurs appelés MC3 et MC4 sont utilisés.

❖ Les boîtiers de raccordements :

- Assure le niveau de raccordement entre branches de modules (string) et le régulateur directement (cas typique d'un petit générateur PV) ou un niveau intermédiaire (2^{ème} niveau) dans le cas d'un grand générateur PV).
- Est doté des protections nécessaires: diodes anti-retour, varistances, mise à la terre, IP, etc.
- Permet de déconnecter la branche pour intervention (installation & maintenance).



Figure I.35: Le boîtier de raccordements

I-6-5 Les différentes dispositions des générateurs Photovoltaïque :

Lorsqu'une installation PV est réalisée sur un bâtiment, elles sont pour la plupart placées sur un toit. On distinguera les installations placées sur des toitures plates, des toitures inclinées et celles placées en façade. Les possibilités d'intégration seront analysées dans ces 3 cas de figures.

I-6-5-1 Installations en toitures plates :

❖ Stabilité

Le montage sur une toiture plate pose certains problèmes au niveau de l'étanchéité et de la stabilité du bâtiment. Ceux-ci doivent être préservés et ce pour la durée de vie prévue pour l'installation photovoltaïque (25 ans).

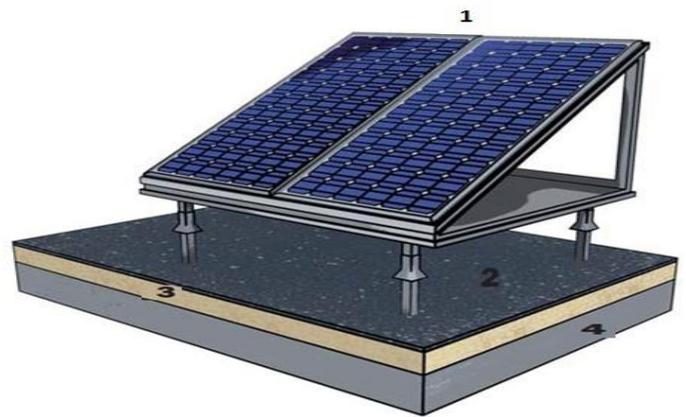
Les modules inclinés par rapport à la surface de la toiture vont subir l'effet du vent. Cet effet peut être vertical vers le haut (effort d'arrachement) ou vers le bas (compression) ou encore horizontal (cisaillement). Il est nécessaire de vérifier que

l'ancrage ou le système de lestage utilisé est suffisant pour maintenir l'installation en place. On vérifiera également que la toiture et la structure portante peuvent accepter la charge supplémentaire (statique) et les effets dus au vent (dynamique). [15]

❖ Étanchéité

L'installation photovoltaïque ne doit pas avoir de conséquence négative pour l'étanchéité de la toiture. Une vérification de la qualité de la toiture existante doit avoir lieu au préalable pour déterminer si la toiture existante est encore bonne pour 25 ans ou s'il y a lieu de la réparer

- 1 : Modules photovoltaïques
- 2 : Étanchéité
- 3 : Isolant
- 4 : Élément porteur maçonné



I-6-5-2 Installations sur façade :

Dans le cas de rénovation de toiture ou pour une nouvelle construction, il est possible d'utiliser les panneaux photovoltaïques comme éléments constitutif du bâtiment.

❖ Mur rideau en façade ou pignon aveugle



❖ Façade en modules semi transparent



I-6-5-3 Installation en toitures inclinées :

Une toiture existante en tuiles ou en ardoise, après contrôle de son état, peut accueillir une installation en surimposition ou en substitution du matériau de couverture en cas de Cette dernière solution, bien que nettement plus esthétique est plus onéreuse et parfois difficile à mettre en œuvre.

Dans tous les cas il faut tenir compte que la durée de vie d'une installation photovoltaïque est de 25 ans minimum et en conséquence la toiture doit pouvoir supporter l'installation pendant ce temps-là.

❖ Surimposition

Un exemple de surimposition est illustré à la Figure



Il faudra veiller que l'espace entre l'arrière des modules et la toiture soit suffisant afin de faciliter le flux d'air et donc le refroidissement.

La structure de montage doit comprendre aussi le système de canalisation des câbles DC.

Les câbles et les accessoires (connecteurs, boîtes de jonction, etc.) doivent être appropriés selon leur exposition potentielle aux conditions extérieures (intempéries, ozone, radiation, UV, température ambiante, feu, etc.). [15]

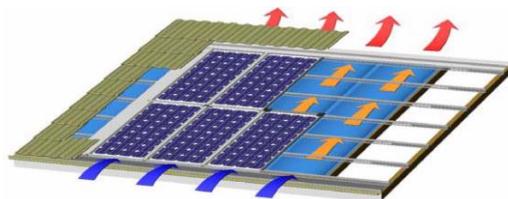


Figure I.36 : Débit d'air sous et derrière les modules

Avantages	Inconvénients	Remarques
Facilité de pose si la toiture est facilement accessible	Difficulté de pose si la toiture est difficile d'accès ou dangereuse	Assurer une fixation suffisante sans toucher à la couverture de la toiture (utilisation de pattes sous les tuiles)
Permet une certaine ventilation des modules par l'arrière (laisser 5 à 10 cm entre le toit et les panneaux)	Productivité fortement dépendante de l'orientation et de l'inclinaison de la toiture	choisir des toitures orientées sud + ou - 45°
Meilleure densité de puissance par m ² de toiture comparé avec les modules souples	Intégration esthétique limitée	Faire attention aux ombrages (nombreux dans zones résidentielles)
Impact de la charge de vent moins important	Maintenance compliquée	Accès à la toiture parfois difficile
Quantité de matériaux nécessaires à la pose limitée		
Bonne visibilité (aspect marketing)		

Tableau I.3 : Avantages et inconvénients de la surimposition de modules sur toiture inclinée

I-7 l'état de l'art :

❖ Etude et réalisation d'une centrale photovoltaïque raccordée au réseau de 36 kWc au niveau de l'école de la police judiciaire (c. g. n) de zeralda

L'objectif est de suivre les performances de cette centrale PV et permettra de voir les limites et contraintes du photovoltaïque ainsi que le degré de pénétration des systèmes PV dans le réseau électrique national.

Réaliser par : équipe AEP cheikh Majid UDES, 2012

❖ **Injection d'une production Photovoltaïque de 3 KWc dans le réseau électrique de sonelgaz**

Etude globale de dimensionnement (étude site, nombre des panneaux nécessaire, câblage, onduleur, protectionetc.) à partir le logiciel solar calc pour injecter 3kWc

Dans le réseau électrique public.

Présenté par : Baba Ali batoul et Mellah wassila .USTB1 2015

❖ **Dimensionnement et simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter un habitat dans la wilaya d'Ouargla connecté au réseau,**

L'objectif de cette travail dimensionnement et simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter un habitat dans la willaya d'Ouargla

Présenté par : MATALLAH Soraya .Université d'Ouargla 2015

❖ **Projet piloté à Ghardaïa, système PV connecté au réseau avec suntracking**

Le projet consiste en une étude, simulation et réalisation d'un système photovoltaïque connecté réseau, d'une petite puissance soit de 3 à 5 KWatt avec poursuite solaire, à utilisation individuelle.

Réaliser par : Unité de Recherches Appliquées aux Energies Renouvelables, BP : 88 Gart Taam Z.I Bounoura Ghardaïa.

❖ **Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau**

Le travail constitue une étude sur les convertisseurs utilisé dans la plus part des systèmes photovoltaïques (PV) qu'ils sont raccordé au réseau électrique. Ils ont effectué une étude générale du générateur photovoltaïque et de son fonctionnement à sa puissance maximale en utilisant un hacheur buck-boost commandé par un algorithme MPPT de type P&O, le but étant d'améliorer le rendement en puissance du système PV.

Présenté par : MECHALIKH Med Nadjib HAMADA Charaf Eddine. Université d'Ouargla 2013

❖ Dimensionnement d'une centrale photovoltaïque connectée au réseau public d'une agriculture.

Le but de cette étude est la réalisation et optimisation d'une centrale photovoltaïque à l'aide de logiciel Solar Calc.

Présenté par : Mr.azouni .Ustb1 2016

I-8 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons abordé le gisement solaire et la conversion PV, nous avons également exposé les différents systèmes et composants PV nécessaire à notre étude.

II-1 Introduction :

Ce deuxième chapitre est consacré à la présentation du logiciel SOLAR CALC que nous allons utiliser, ainsi que la méthodologie à suivre afin de dimensionner notre installation photovoltaïque connectée au réseau.

II-2 Problématique :

Un habitant d'une résidence domestique a bénéficié du tarif d'achat garantis d'électricité, son soucis alors est de dimensionner d'une manière optimal une installation PV connecte au réseau donc amortir le cout d'investissement le plus rapide possible.

II-3 Présentation de logiciel :

- ❖ **Définition :** Solar Calc est un logiciel électrique développé par la Société Trace Software. Il permet de concevoir, de dimensionner et d'optimiser une installation photovoltaïque raccordée au réseau public, selon le guide **C15-712**. Le logiciel traite le calcul de l'ensemble de l'installation : l'organisation des panneaux ; les modes de pose ; le choix des onduleurs ; le calcul des câbles et des protections. Il intègre une base de données des constructeurs de ces différents éléments.

- ❖ **Barre d'outils**



-  | Nouveau projet
-  | Ouvrir un projet existant
-  | Enregistrer le projet en cours
-  | Enregistrer le projet en cours, sous un nouveau nom.
-  | Export au format dwg.
-  | Gestionnaire d'impression.

Chapitre II : Etude des cas et présentation de logiciel soalr calc

Au-delà de l'enregistrement du fichier dwg, la fenêtre de visualisation offre la possibilité de zoomer, de faire une impression directe ou un export PDF.



Edition des informations liées au projet.



Saisie de du type de raccordement et du type de lieu de l'installation.



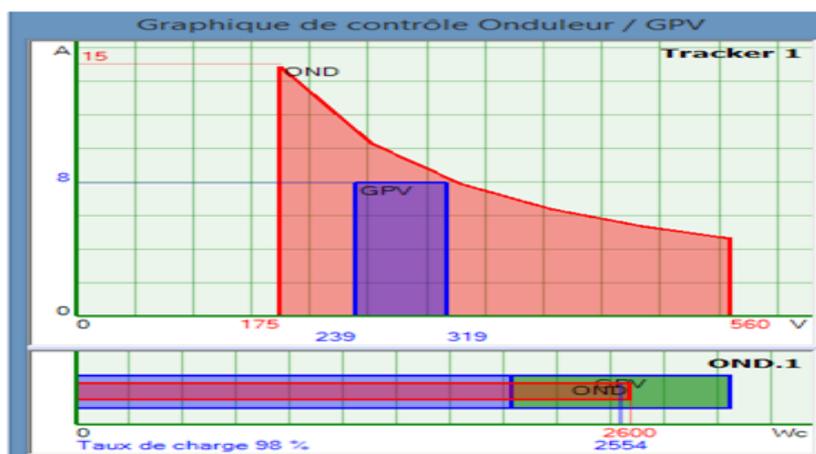
FigureII.1 : Type de branchement et de lieu.



Analyse du besoin de protection par parafoudre.



Affichage ou masquage du graphe de visualisation de l'adaptation onduleur / GPV.



FigureII.2: Graphique de contrôle onduleur /GPV

La zone de fonctionnement de l'onduleur (rouge) est délimitée par les tensions mini et maxi, et par le courant maxi. Le générateur photovoltaïque est représenté de la même manière. Leur superposition permet de visualiser l'adéquation entre les deux.



Accès à l'édition des catalogues personnalisés.



FigureII.3 : Catalogue personnalisé

-  Accès à la gestion du système de protection
-  Accès à la configuration de **Solar Calc** (Norme, Langue).
-  Accès au support technique en ligne.
-  Accès à la documentation de **Solar Calc**.

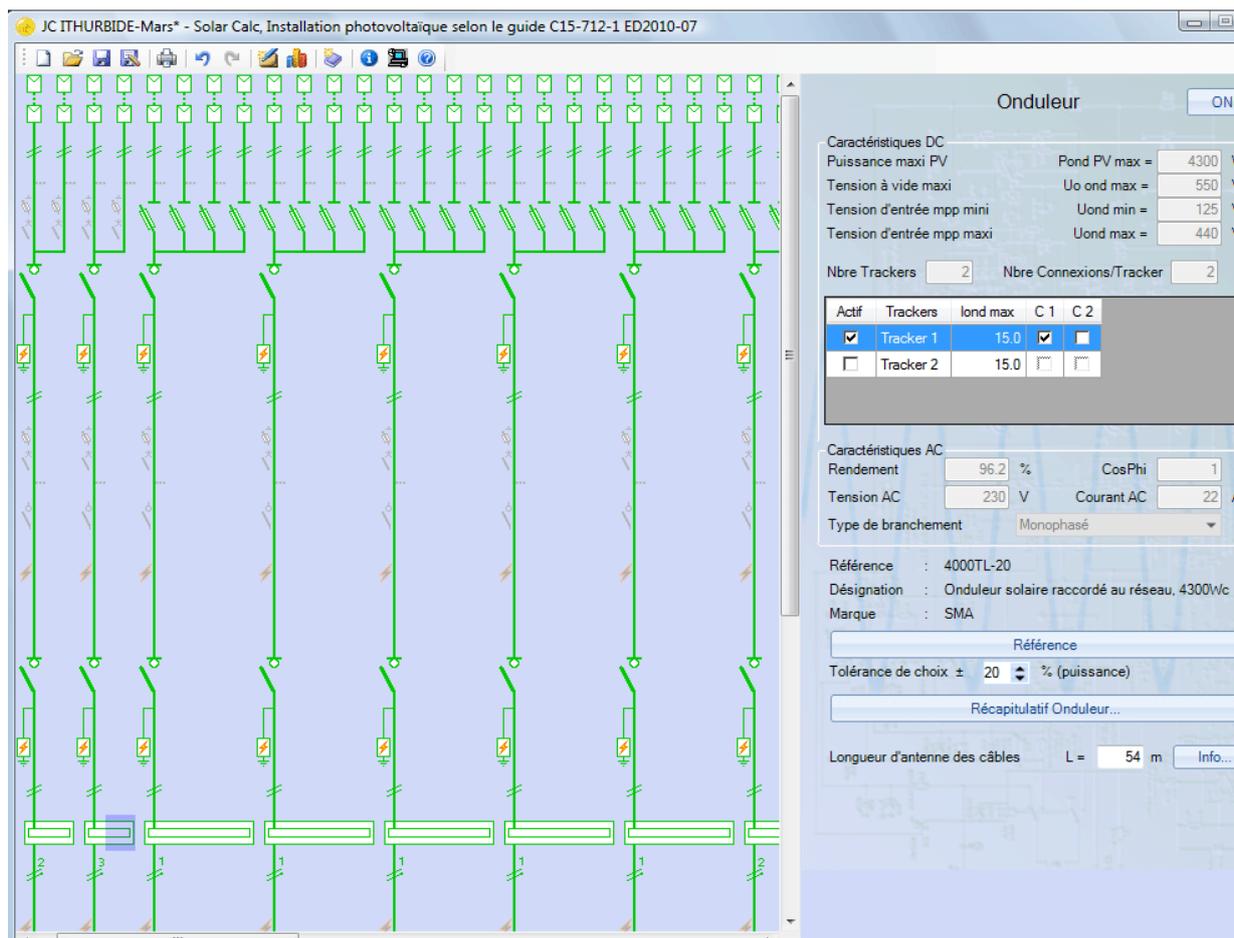
❖ Principes généraux et saisie

Solar Calc permet le dimensionnement électrique d'une installation solaire raccordée au réseau public, selon le guide C15-712-1.

Le logiciel est formé de 2 zones distinctes : à gauche, le synoptique, à droite, le panneau de saisie.

1. Partie synoptique

Schéma unifilaire de l'installation.



FigureII.4 : Partie synoptique

La fenêtre est redimensionnable, pour permettre un affichage optimum.

Chapitre II : Etude des cas et présentation de logiciel soaIr calc

Des barres de défilement, horizontales et verticales, donnent accès à toutes les parties du schéma, quelle que soit la résolution de l'écran.

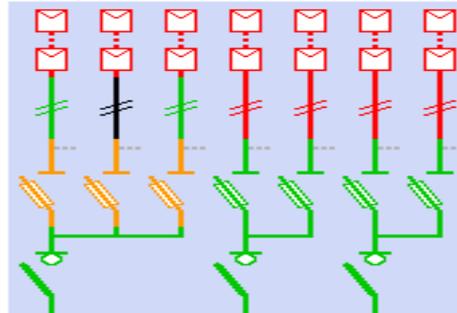
L'état de validité de chaque symbole est visualisé par sa couleur de tracé.

Vert : conforme

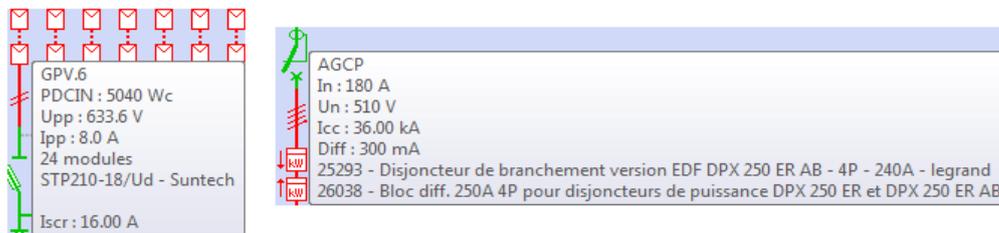
Noir : Non calculé

Orange : Avertissement

Rouge : Non conforme



Des informations sont disponibles, en info-bulle, par un simple survol des symboles.



FigureII.5: Informations sur les éléments

Les symboles pouvant être mis en place sont signalés par des icônes estompées.

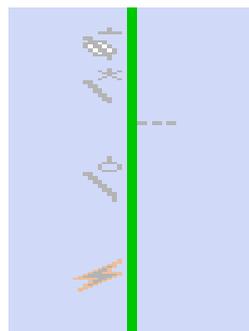
Par exemple, l'illustration ci-dessous propose :

Protection

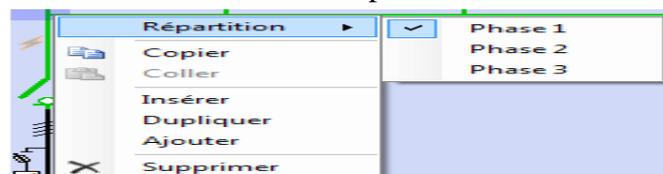
Dérivation

Interrupteur

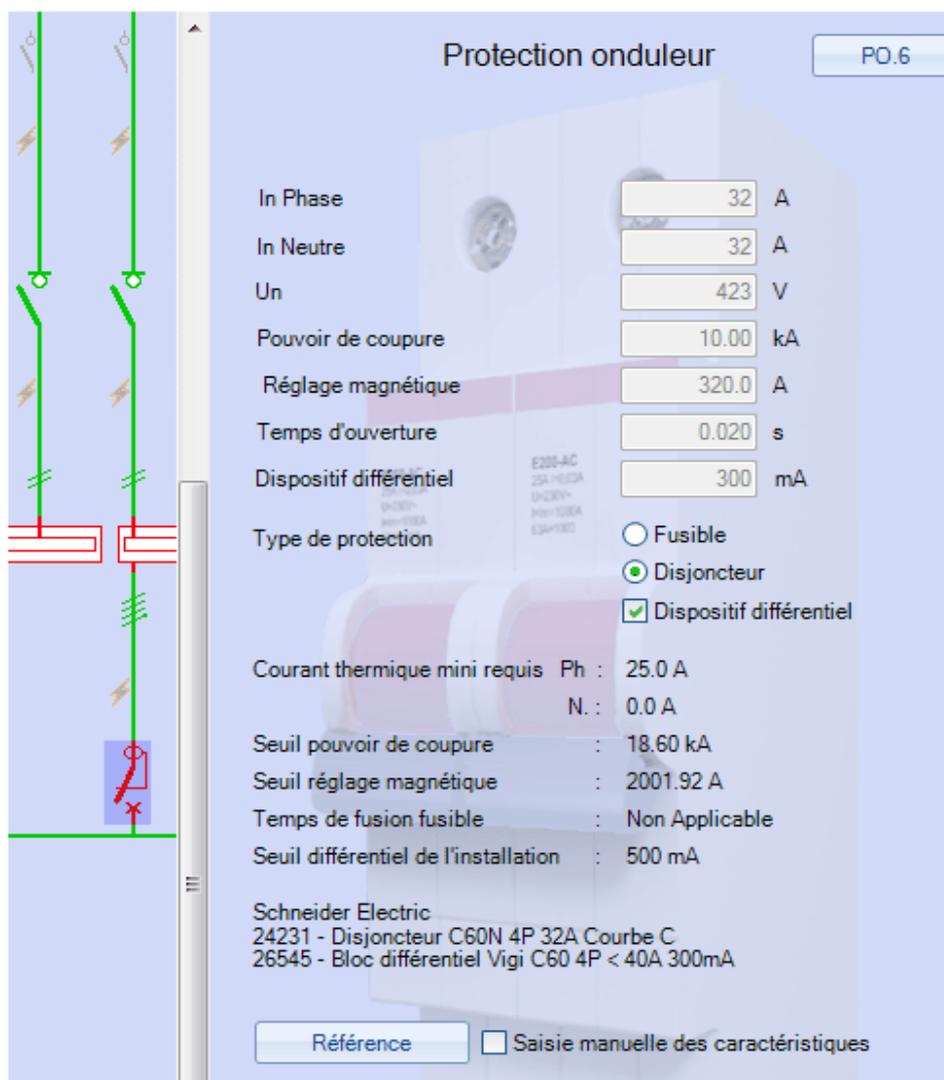
Parafoudre



Les menus contextuels disponibles dans la partie AC du schéma, permettent aussi la répartition des phases sur les branches monophasées.



Un simple clic gauche sur un symbole du synoptique provoque l'affichage du panneau de saisie correspondant.



FigureII.6 : Protection onduleur.

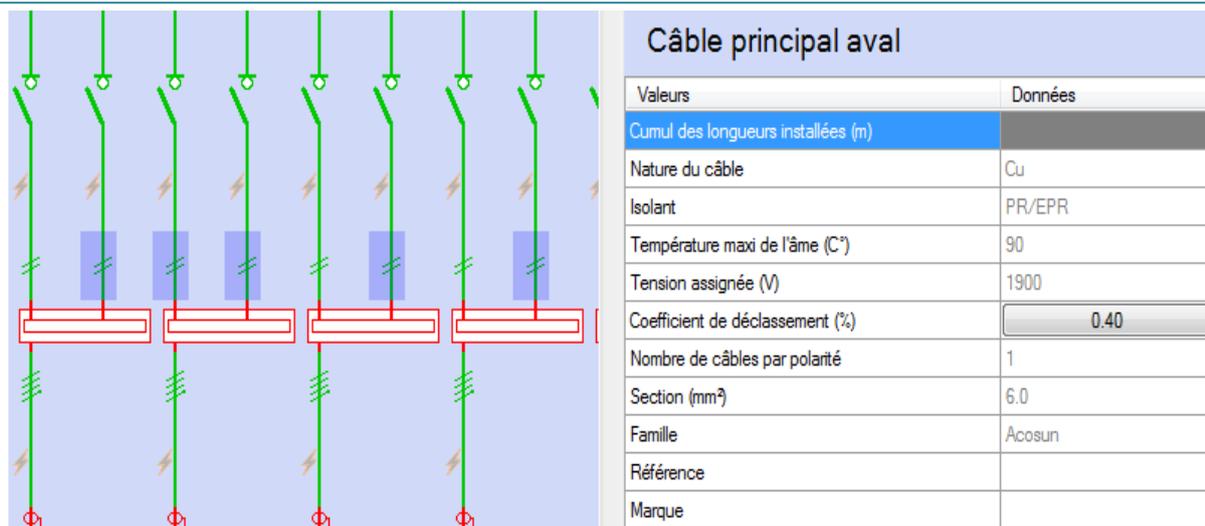
Le synoptique permet la multi sélection des symboles, par glissement de la souris, ou en association avec les touches "Maj." ou "Ctrl".

Dans le cas d'une multi sélection, le panneau de saisie présente un résumé des caractéristiques.

Seules les valeurs communes sont affichées lisiblement.

Si, pour une même caractéristique, les valeurs sont variantes (exemple ci-dessous : tous les câbles n'ont pas la même longueur), la zone de saisie est grisée, tout en restant éditable.

Toute modification, dans ces conditions, est prise en compte pour l'ensemble des symboles sélectionnés.



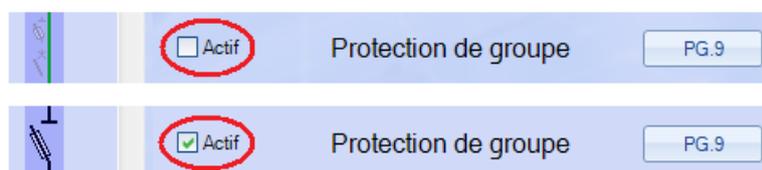
FigureII.7: Câble principal aval.

2. Panneau de saisie

Chaque panneau de saisie est adapté au type de symbole à renseigner.

Un certain nombre d'éléments restent communs à tous les panneaux de saisie :

- Une case à cocher (en haut à gauche de chaque panneau), permet d'activer ou de désactiver les symboles optionnels.



FigureII.8 : Protection de groupe

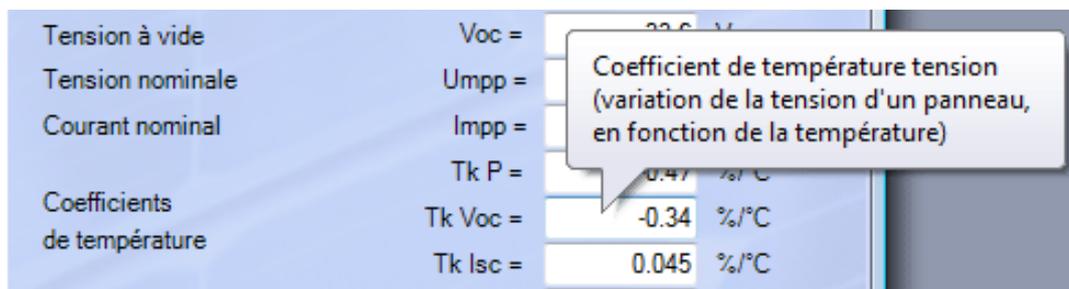
Chaque symbole est repéré automatiquement. Un bouton (en haut à droite de chaque panneau), permet l'édition de ce repère. L'intitulé du bouton est le repère lui-même (PG.9 dans l'exemple).



FigureII.9: Repérage protection de groupe

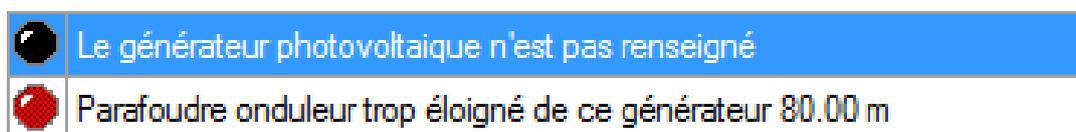
- Différents types de messages sont présents dans **Solar Calc** pour aider l'utilisateur et le renseigner sur les manques et/ou les problèmes rencontrés.

- Informations sur les zones de saisie



FigureII.10 : Informations sur les zones de saisie

- Messages d'erreur et/ou d'information, selon le même code de couleurs que celui des symboles. (En bas du panneau de saisie)



Solar Calc signale les erreurs détectées, mais la prise en compte de ces erreurs reste à la charge de l'utilisateur.

Dans certains cas, le dossier peut être validé malgré ces erreurs.

Solar Calc offre la possibilité de justifier les messages d'erreur, et d'inclure ces commentaires à la note de calcul.

L'accès à la saisie de ces commentaires se fait par le bouton situé en bout de chaque message.

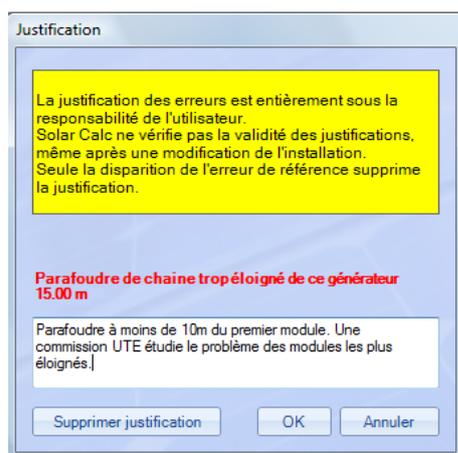


Figure II.11 : justification des erreurs

La justification des erreurs est entièrement sous la responsabilité de l'utilisateur.

Solar Calc ne vérifie pas la validité des justifications, même après une modification de l'installation.

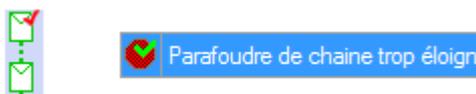
Seules les disparitions de l'erreur ou l'action sur le bouton  suppriment la justification.

Le texte saisi est inclus à l'édition de la liste des erreurs.

Anomalies	
Repère	Message anomalie Justification
GPV.1	Parafoudre de chaine trop éloigné de ce générateur 15.00 m Parafoudre à moins de 10m du premier module. Une commission UTE étudie le problème des modules les plus éloignés.

Une fois justifiée, une erreur est signalée sur le synoptique par l'ajout d'une coche rouge sur le symbole concerné.

Le message garde sa couleur d'origine, et est surchargé d'une coche verte.



- La saisie des caractéristiques techniques se fait :
 - Par le choix d'une référence dans un catalogue (bouton référence)



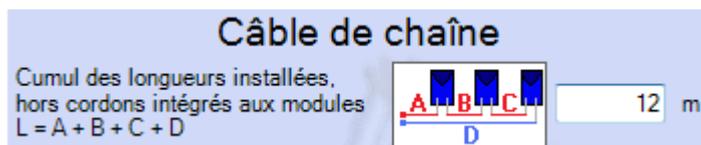
- Saisie manuelle directe (cocher la case).

❖ Câbles

Les câbles sont dimensionnés pour répondre aux différentes contraintes :

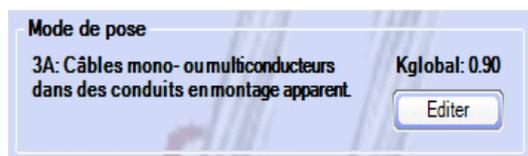
- Longueur : saisie de la longueur parcourue par le câble. Même dans le cas de câbles mono-conducteur, la longueur à saisir est celle du parcours des câbles d'un même circuit (comme formant un câble multiconducteurs)

- Cas particulier des câbles de chaîne.
- Les câbles de chaîne ont la particularité d'avoir les polarités + et – de longueurs différentes. Cela vient principalement du fait que les panneaux sont équipés de cordons de raccordement, dont il ne faut pas tenir compte dans le calcul des chutes de tension.
- Donc, dans le cas des câbles de chaîne (et seulement dans ce cas), il est demandé de saisir la longueur totale de câble mono-conducteur (+ et -) installée



FigureII.12: Câble de chaîne

- Courant d'emploi
- Mode de pose



FigureII.13: Mode de pose

❖ Parafoudres

La première étape, de définition des parafoudres dans une installation électrique, consiste à analyser le besoin (ou non) de parafoudre.

Cette analyse est basée sur le guide C15 443.

L'accès à cette analyse se fait à partir de la barre d'outils



Un jeu de questions permet un descriptif de l'environnement, et à partir de là, la définition des types et emplacements des parafoudres nécessaires.

Figure II.14: Analyse besoin protections parafoudre

Solar Calc signale automatiquement les positionnements des parafoudres.

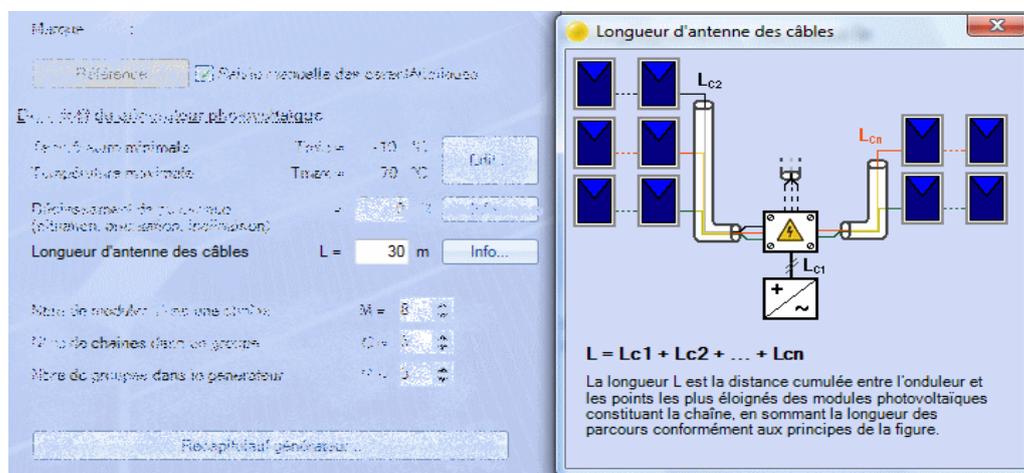
Il ne reste à l'utilisateur, qu'à choisir une référence dans le catalogue.

Le choix des matériels se fait en 2 étapes :

- Choix du parafoudre (Partie haute du panneau de saisie).
- Choix de la protection associée au parafoudre (Partie basse du panneau de saisie). Ce choix est totalement dépendant de la référence du parafoudre, et répond aux prescriptions du fabricant du parafoudre.

Figure II.15 : Choix parafoudre de chaîne

Dans le cadre du guide C15 712-1 de juillet 2010, l'analyse du besoin de parafoudres coté DC est complétée par l'étude de la longueur d'antenne formée par les câbles DC (susceptible de capter un courant de foudre induit).



Cette saisie de longueur est à effectuer pour chaque onduleur.

La zone saisie se situe dans l'onglet de l'onduleur.

❖ Taux d'irradiation solaire

Dans la zone de saisie des caractéristiques du générateur photovoltaïque, le taux de déclassement de puissance des panneaux est demandé.

Déclassement de puissance
(situation, orientation, inclinaison) = 0 %

Solar Calc ne sachant pas encore effectuer ce type de calcul, un bouton **Info...** permet l'accès direct à un site spécialisé (Commission de la communauté européenne).

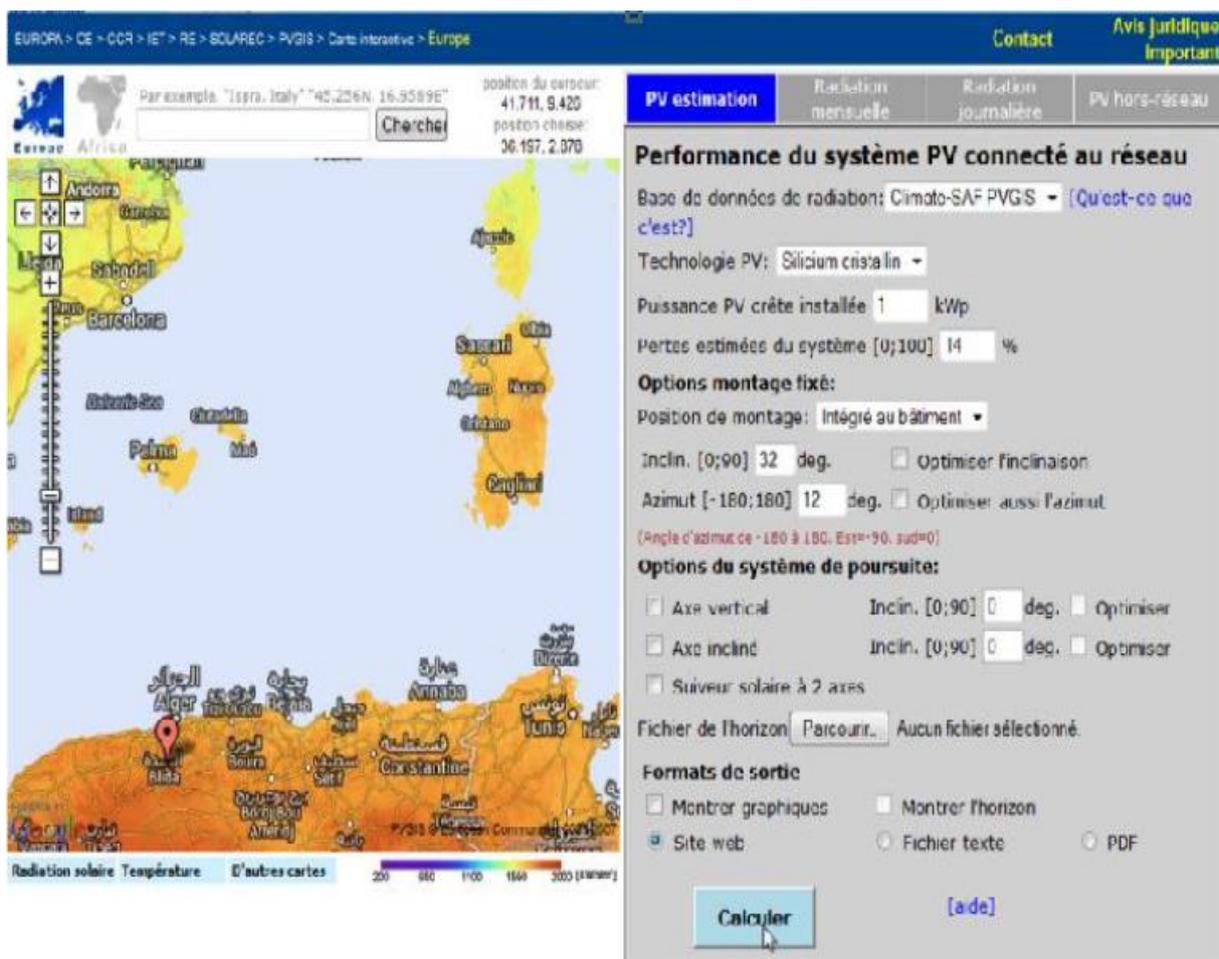
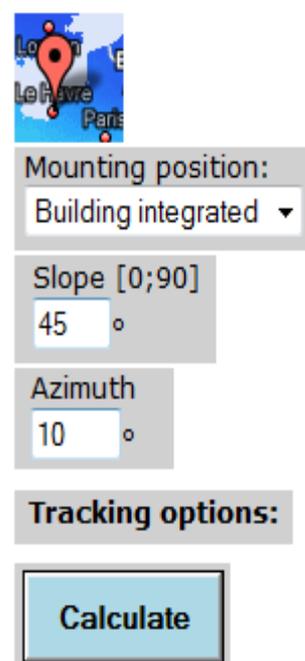


Figure II.7 : Taux d'irradiation solaire

La démarche est la suivante :

- Cliquer sur la carte pour localiser l'installation.
- Choisir le type d'installation (Indépendante ou intégrée au bâtiment).
- Saisir l'inclinaison des panneaux.
- Saisir l'orientation des panneaux (-90 = est, 0 = sud, 90 = ouest).
- Saisir les informations du tracking si les panneaux sont motorisés.
- Lancer le calcul.



II-4 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté le logiciel Solar Calc avec lequel nous allons concevoir, dimensionner et optimiser une installation photovoltaïque connectée au réseau.

III-1 Introduction :

Ce dernier chapitre est consacré à la présentation des étapes de dimensionnement effectué sur le logiciel SOLAR CALC et l'interprétation des résultats obtenus par ce dernier plus une étude technico-économique approximative de l'installation.

III-2 Prés dimensionnement :

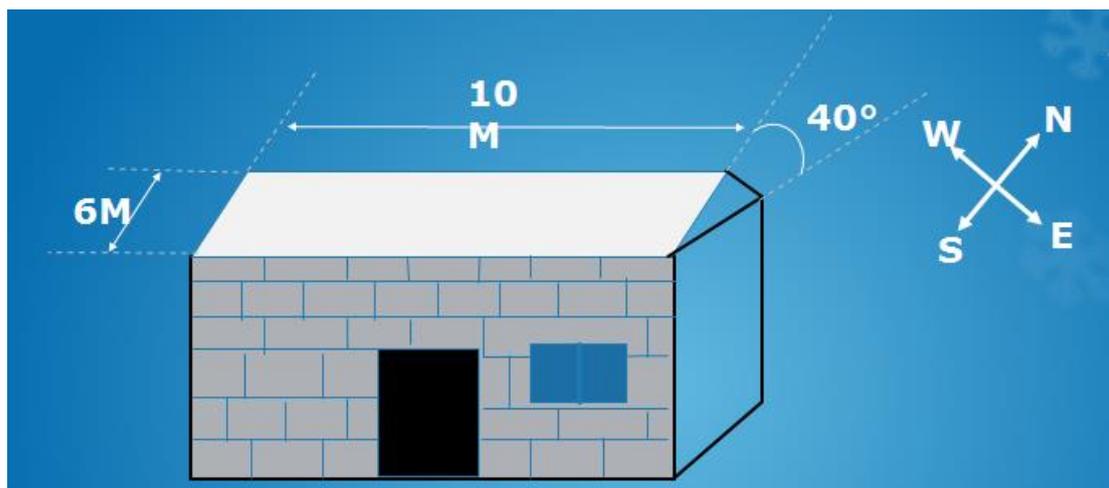
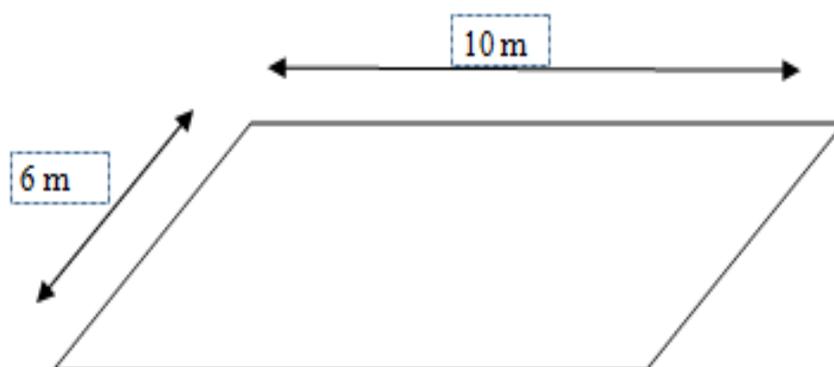


Figure III-1 : plan d'une maison (toiture).



- Surface toiture : $6\text{m} * 10\text{m} = 60\text{m}^2$
- L'inclinaison de toiture $B = 40^\circ$

Chapitre III : simulation et résultat

- **Profile de charge (consommation journalière de la maison)**

Profile d'hiver :

Maison	Equipements	Puissance de l'équipement (w)	CONSOMMATION EN KWh (Profil d'hiver)																								
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Séjour	chaudière	1500														1,5	1,5						1,5	1,5			
	Télé + démo	70+30														0,1	0,1						0,1	0,1	0,1		
	lampe	15									0,015	0,015											0,015	0,015	0,015		
Chambre 01	Lampe	15									0,015	0,015												0,015	0,015	0,015	
	PC	54																						0,054	0,054	0,054	
Cuisine	Machine à laver	2500																								2,5	
	Réfrigérateur	367	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	Lampe	15									0,015	0,015												0,015	0,015	0,015	
Salle da bain	02 Lampes	30								0,03	0,03													0,03	0,03	0,03	0,03
Hall	Lampe	15								0,015	0,015													0,015	0,015	0,015	0,015
TOTAL			0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,1	0,13	0,07	0,04	0,04	0,04	0,04	1,64	1,64	0,04	0,04	0,04	2,54	0,215	1,784	1,784	0,154	0,07	10,647

Tableaux III.1 : Appareils électroménagers de la maison et leurs puissances journalières en hiver.

Chapitre III : simulation et résultat

Profile d'été :

Maison	Equipment	Puissance de l'équipement (w)	CONSOMMATION EN KWh (Profil d'été)																								
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Séjour	Climatiseur 8 BTU	2000														2	2				2	2					
	Télé + démo	70+30													0,1	0,1					0,1		0,1	0,1	0,1	0,1	
	lampe LED	15								0,01	0,01													0,015	0,015		
Chambre 01	Lampe LED	15							0,015	0,015												0,015	0,015	0,015			
	PC	54																					0,054	0,054	0,054		
Cuisine	Machine à laver	1000																		1							
	Réfrigérateur	367	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
	Lampe LED	15							0,015	0,015													0,015	0,015	0,015		
Salle da bain	2 Lampes LED	30							0,02															0,03	0,03	0,03	
Hall	Lampe LED	15							0,015															0,015	0,015		
TOTAL			0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,055	0,115	0,065	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	2,14	2,14	0,04	0,04	1,04	2,14	2,07	0,269	0,284	0,239	0,14	11,177

Tableaux III.2 : Appareils électroménagers de la maison et leurs puissances journalières en été.

- **Courbe de consommation :**

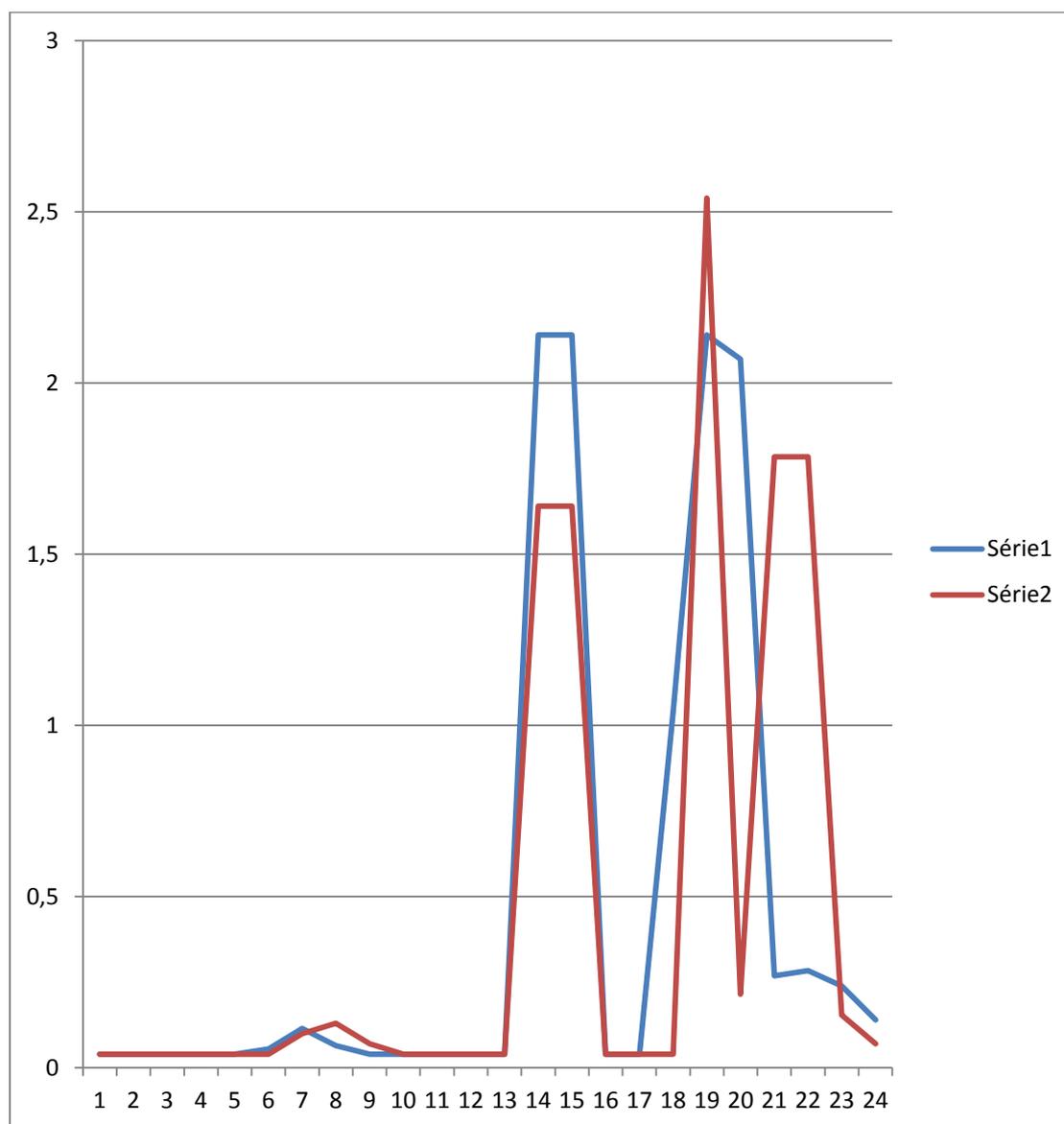


Figure III.2 : Profil de consommation élaboré de la maison pendant une journée en Hiver et une autre en Eté

Le besoin énergétique de la maison au mois plus défavorable est **$E_c=11.117$ KWh/j.**

Puissance crête nécessaire $P_c=E_c/N_e \cdot C_p=11.117/3.5 \cdot 0.7$

$P_c=4.5$ kWc

Nous avons utilisé des modules de 135 Wc

Marque CONDOR, longueur (1.6 m) et largeur (0.96 m)

Nombre des modules : $P_c/\text{puissance de module} = 4500/135$

$N=34$ modules

- **Calepinage des panneaux :**

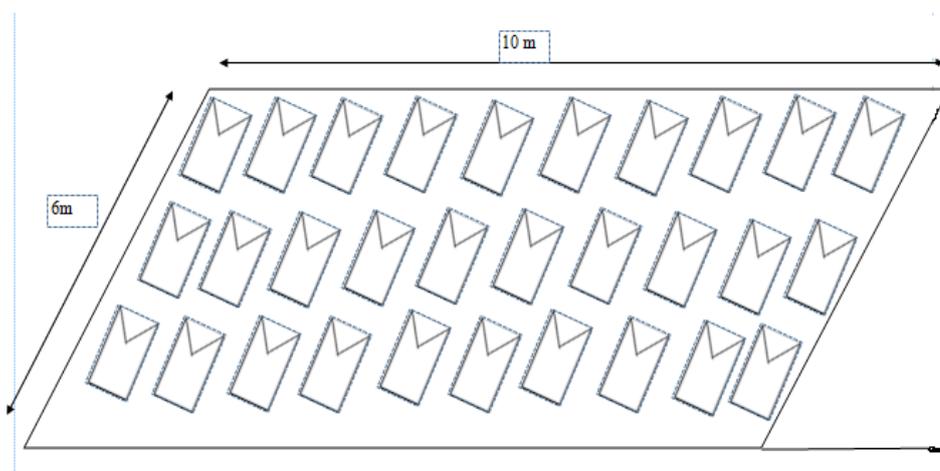


Figure III.3 : Disposition verticale

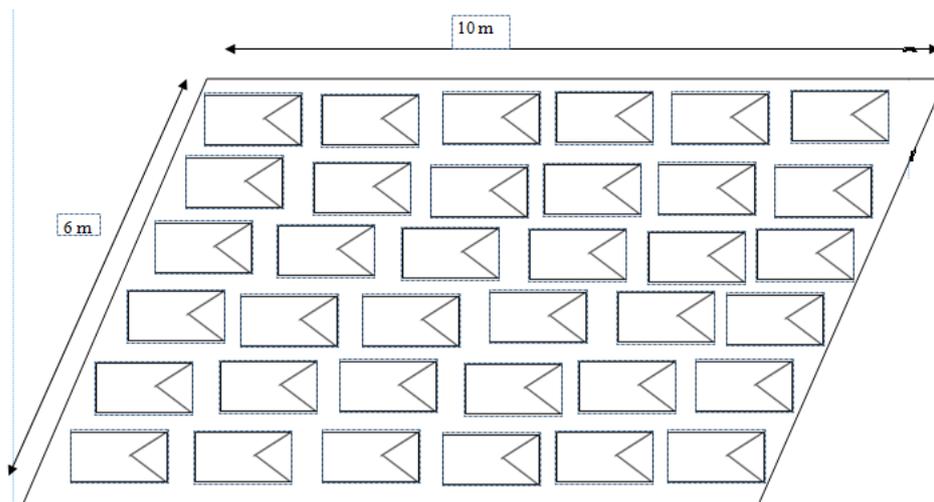


Figure III.4 : Disposition horizontale

Après avoir disposé les panneaux sur la toiture (calepinage), on opte pour la disposition horizontale car elle permet l'utilisation d'un nombre important de module PV (36 panneaux) par rapport à la disposition vertical (30 panneaux).

Puissance installées : $36 \text{ panneaux} \times 135 \text{ Wc} = 4.8 \text{ kWc}$.

Puissance nécessaire : 4.5 kWc.

III-3 Résultats de la simulation avec le logiciel :

La simulation a été réalisée à l'école technique de Blida (sonelgaz) avec logiciel solar calc et le fichier de simulation sont présentées en (**Annexe n°1**) Lors de cette simulation on a pris :

❖ Générateur photovoltaïque :

Désignation	Groupe de générateur PV
Repère	GPV
Nombre	3 générateurs
Composition	12 panneaux PV poly cristallin/GPV
Caractéristiques	Puissance max panneau PV : 135 Wc Courant nominale Impp : 7.82A Courant de court-circuit Isc : 8.35A Tension à vide Voc : 21.97v Tension nominale Umpp : 17.27v Déclassement puissance : 0% Température mini Tmin : -10°C Température maxi Tmax : 70°C Courant inverse maxi IRM : 17A Dimension du panneau : 1600×996mm
Marque	Condor

Tableau III-3: type de générateur photovoltaïque utilisé

❖ Câble de chaine :

Désignation	Câble de chaine
Repère	CC
Caractéristiques	Longueur : 3m Section : 1×6 mm ² Cu k global : 0.40 Tension assignée : 1800v Iz requis : 51.9A Température ambiante : 70°C- câble cheminant dans des isolants thermiques Chute tension câble : 0.04 % Chute tension totale : 0.28%
Mode de pose 3A	Câbles mono-ou multiconducteurs dans des conduits en montage apparent.
Groupement	1 circuit par couche- 1 conduit disposé horizontalement- 1 conduit disposé verticalement
Marque	Acome

Tableau III-4 : type de câble de chaine utilisé

❖ Parafoudre modules PV :

Désignation	Parafoudre DC, type2, DG M YPV SCI 600
Repère	PFC
Nombre	1
Caractéristiques	Type2 Niveau de protection Up : 2KV courant de décharge In : 12.5 KA Seuil Up max : 3.2KV Seuil In min: 5 KA Section de raccordement 6 mm ² . longueur cumulée : 0.50m Protection intégrée
Marque	Dehn

Tableau III-5 : type de parafoudre DC utilisé

❖ Câble de groupe :

Désignation	Câble de groupe
Repère	CG
Caractéristiques	Long : 2m Section : 1×16 mm ² Cu K global : 0.40 Tension assignée : 1800v Iz requis : 77.9A Température ambiante : 70°C - câble cheminant dans des isolants thermiques Chute tension câble : 0.07 % Chute tension totale : 0.23%
Mode de pose 3A	Câbles mono-ou multiconducteurs dans des conduits en montage apparent.
Groupement	1 circuit par couche- 1 conduit disposé horizontalement- 1 conduit disposé verticalement
Marque	Acome

Tableau III-6: type de câble de groupe

❖ Interrupteur :

Désignation	Interrupteur KG ,450Vcc
Repère	IG
Nombre	1
Caractéristiques	Calibre In : 32A Un : 450V
Marque	Kraus &Naimer

Tableau III-7: type d'interrupteur utilisé

❖ **Câble principale amont :**

Désignation	Câble principal amont
Repère	CP1
Caractéristiques	Longueur : 3m Section : 1x16mm ² Cu K global : 0.40 Tension assignée : 1800V Iz requis : 77.9A Température ambiante : 70°C- câble cheminant dans des isolants thermique Chute tension câble : 0.10 % Chute tension totale : 0.17 %
Mode de pose 3A	Câbles mono-ou multiconducteurs dans des conduits en montage apparent.
Groupement	1 circuit par couche- 1 conduit disposé horizontalement- 1 conduit disposé verticalement
Marque	Acome

Tableau III-8: type de câble principal on amont

❖ **Sectionnement et coupure onduleur :**

Désignation	Interrupteur KG ,450Vcc
Repère	IO
Nombre	1
Caractéristiques	Calibre In : 32A Un : 450V
Marque	Kraus & Naimer

Tableau III-9: type d'interrupteur utilisé

❖ **Parafoudre DC onduleur :**

Désignation	Parafoudre DC, type 2, DG M YPV SCI 600
Repère	PFO
Nombre	1
Caractéristiques	Type2 Niveau de protection Up : 2KV courant de décharge In : 12.5 KA Seuil Up max : 2.48KV Seuil In min: 5 KA Section de raccordement 6 mm ² . longueur cumulée : 0.50m Protection intégrée
Marque	Dehn

Tableau III-10: type de parafoudre DC utilisé

❖ **Câble principal aval :**

Désignation	Câble principal aval
Repère	CP2
Caractéristiques	Longueur : 2m Section : 1x16mm ² Cu K global : 0.40 Tension assignée : 1800V Iz requis : 77.9A Température ambiante : 70°C- câble cheminant dans des isolants thermique Chute tension câble : 0.07 % Chute tension totale : 0.07 %
Mode de pose 3A	Câbles mono-ou multiconducteurs dans des conduits en montage apparent.
Groupement	1 circuit par couche- 1 conduit disposé horizontalement- 1 conduit disposé verticalement
Marque	Acome

Tableau III-11: type de câble principal aval

❖ **Onduleur :**

Désignation	Onduleur solaire raccordé au réseau 5500 Wc
Repère	OND.1
Nombre	01
Caractéristiques de l'onduleur	Puissance maxi PV =5500 Wc Tension à vide maxi = 500 v Tension d'entrée mpp mini =150 v Tension d'entrée mpp maxi =400 v
Valeurs de contrôle du générateur	Puissance maxi PDCIN GPV max=5591 Wc Tension à vide maxi Voc GPV max=295.5 v Tension en charge mini Upp min=174.6 v Tension en charge maxi Upp max=232.6 v
Marque	fronius

Tableau III-12: type d'onduleur solaire raccordé au réseau

Données par tracker

Repéré tracker	1
Courant mpp maxi Ipp (A)	29
Courant générer maxi Ipp	23.8
Nbr de Connections/Tracker	5
Nbr de Connections utilisées	1

Branchement : monophasé tension : 230v courant maxi : 17.8 A

❖ **Câble AC onduleur :**

Désignation	Câble AC onduleur
Repère	CO
Caractéristiques	Longueur : 1m Polarité : monophasé Section : 16mm ² Nature du câble : Cu Iz requis : 22.2A K global : 0.90 Température ambiante : 30°C Chute tension totale : 0.08% Chute tension câble : 0.01%
Mode de pose 5A	Câble mono-ou multiconducteurs dans des conduits dans une paroi
Groupement	1 circuit par couche-1conduit disposé horizontalement-1conduit disposé verticalement
Marque	EUPEN

Tableau III-13: type de câble AC onduleur

❖ **Parafoudre AC onduleur :**

Désignation	Parafoudre PM 40 Tétra, Type 2
Repère	PFPO
Nombre	01
Caractéristiques	Type2 Niveau de protection Up : 1.1KV courant de décharge In : 5 KA Seuil Up max : 2.5 KV Seuil In min: 5 KA Section de raccordement 6 mm ² longueur cumulée : 0.50m
Marque	Eutelec

Désignation	Cartouche fusible industrielle à couteaux 000, 16A gG
Repère	PFPO
Nombre	01
Caractéristiques	Calibre In : 63A Un : 400V Courant nominal maxi requis : 16A Pouvoir de coupure : 80 KA Seuil mini requis : 3 KA
Marque	Ferraz-Shamwut

Tableau III-14: type parafoudre AC utilisé

❖ Câble de raccordement AC aval :

Désignation	Câble de raccordement AC aval
Repère	CR_A.1
Caractéristiques	Longueur : 1m Polarité : monophasé Section : 10mm ² Nature du câble : Cu Iz requis : 22.2A K global : 0.90 Température ambiante : 30°C Chute tension totale : 0.07% Chute tension câble : 0.04%
Mode de pose 5A	Câble mono-ou multiconducteurs dans des conduits dans une paroi
Groupement	1 circuit par couche-1conduit disposé horizontalement-1conduit disposé verticalement
Marque	Prysmian

Tableau III-15: type de câble raccordement AC aval utilisé

❖ Protection AC onduleur :

Désignation	Disjoncteur .2P S202L- C20 A
Repère	SIR_B.1
Nombre	01
Caractéristiques	Courbe C Pouvoir de coupure : 4.5 KA Temps de fonctionnement : 0.015s Un : 400 V Seuil mini requis : 3.0 KA Seuil maxi requis : 0.031s Réglage thermique phase : 20 A Réglage thermique neutre : 0 A Réglage magnétique : 200 A Seuil mini requis : 17.8 A Seuil maxi requis : 7644.9 A Dispositif différentiel : 30mA.
Marque	ABB

Tableau III-16: type disjoncteur utilisé

❖ Câble de raccordement AC aval :

Désignation	Câble de raccordement AC aval
Repère	CR_A.2
Caractéristiques	Longueur. 1m Polarité : monophasé Section : 10mm ² Nature du câble : Cu Iz requis : 66.7A K global : 0.90 Température ambiante : 30°C Chute tension totale : 0.04% Chute tension câble : 0.04%
Mode de pose 3A	Câble mono-ou multiconducteurs dans des montages apparent.
Groupement	1 circuit par couche-1conduit disposé horizontalement-1conduit disposé verticalement
Marque	EUPEN

Tableau III-17: type de câble raccordement AC aval utilisé

❖ Réseau public de distribution :

Désignation	Réseau public de distribution
Raccordement	monophasé
Puissance souscrite	0 KVA
Déséquilibre toléré	5KVA
Description des lieux locaux d'habitation	oui
Risque d'incendie (BE2)	non
Courants de court-circuit, au point de raccordement	Courant minimal : 11.39KA Courant maximal 16.50 KA
Besoin de parafoudres dans l'installation	Obligatoire : coté AC : type 2 Obligatoire : coté DC : type 2

Tableau III-18: caractéristique de réseau public de distribution

❖ Schéma unifilaire :

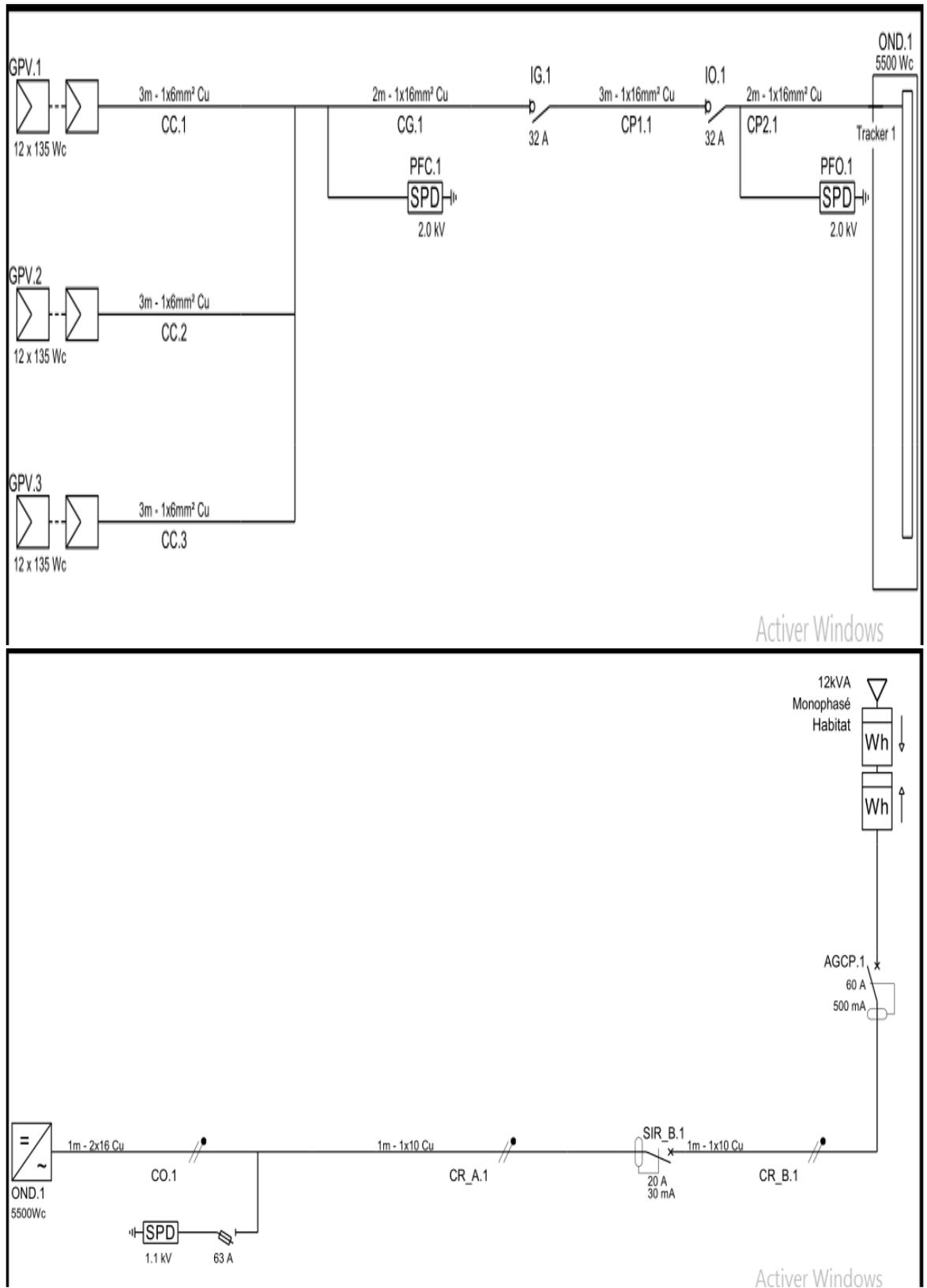


Figure III-5 : schéma unifilaire

III-4 Interprétation des résultats :

Le logiciel Solar Calc contient plusieurs outils qui permettent l'optimisation des équipements constituant le système Photovoltaïque.

❖ Configuration du générateur PV :

Le nombre de douze panneaux mis en série est déterminé selon la disposition de ce dernier sur notre toiture, cette disposition évitera toute perte de câblage ainsi que le risque d'amorçage issu de l'exposition des grandes longueurs de câbles.

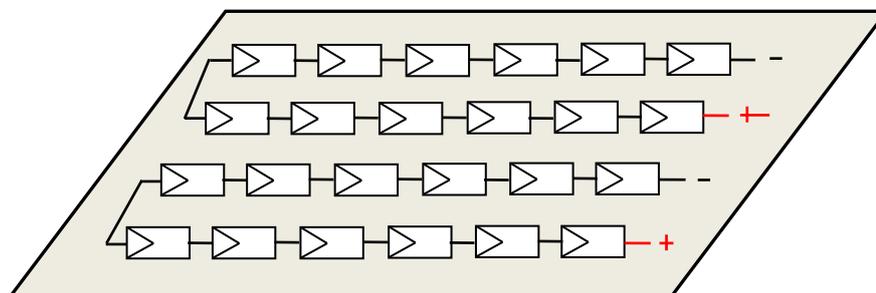


Figure III-6 : Configuration du générateur PV

❖ Compatibilité GPV/Onduleur :

La courbe de fonctionnement du GPV optimale doit être couverte complètement par l'intervalle de fonctionnement de l'onduleur ce qui sous entend que les deux composants fonctionnent pleinement en présence du soleil et qu'ils sont ni surdimensionner ni sous dimensionner l'un de l'autre.

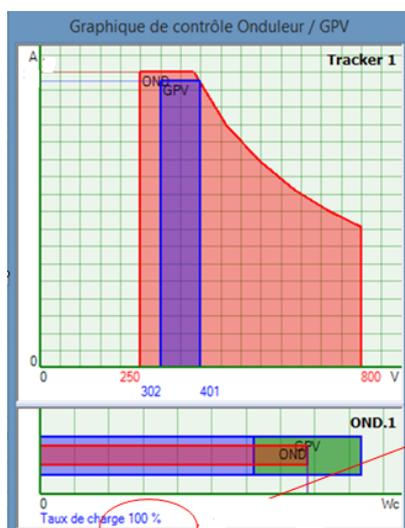


Figure III-7 : Graphique de contrôle onduleur / GPV.

❖ Analyse du besoin en protections parafoudre

Par la suite, nous avons procédé au choix des parafoudres en introduisant les données et en définissant les critères nécessaires à ce choix pour optimiser ce dernier à savoir le niveau karénique de la région, le niveau de la protection peut être revu à la baisse dans le cas de présence du réseau électrique à proximité (<500 m), l'environnement du site (cette configuration détermine le risque de la foudre par rapport à un environnement donné), le cout des équipements a protégés détermine le type de parafoudre et l'utilité ou l'obligation de l'utilisation de ce dernier.

III-5 Etude technico-économique :

Le tarif d'achat : L'Algérie c'est investi dans ce domaine en élaborant un tarif de d'achat (annexe n° 2)

Le cout du kW connecté au réseau a été estimé à (300000 da).

Ce qui induit que notre installation PV connecté au réseau de 4.8 kW est estimée à (1440000da)

Si le tarif d'achat pour les petites puissances reste le même que celui des grandes puissances fixé par l'état algérien soit ≈ 15.94 DA (comme tarif de référence).

Nous allons estimer la durée d'amortissement par rapport à ce tarif.

$$1 \text{ kW} * 7.5 \text{ h} = 7.5 \text{ kWh/jour}$$

$$7.5 \text{ kWh} * 15.94 \text{ da} = 200 \text{ da/jour}$$

$$200 \text{ da} * 365 \text{ jours} = 44000 \text{ da/ans}$$

$$1440000 / 209510 = 30 \text{ ans}$$

L'amortissement se fera dans (30 ans)

II-6 Conclusion :

Pour concevoir une installation PV connectée au réseau, il faudrait prendre en considération plusieurs paramètres et coefficients pour réduire le cout de l'investissement et garantir un amortissement dans une durée réduite. Pour le faire il est très recommandé d'utiliser un logiciel de dimensionnement très fiable tel que Solar Calc.

Conclusion Générale :

Dans ce mémoire nous avons dimensionné une installation photovoltaïque connectée au réseau public d'une maison individuelle implanté au Blida, qui a une toiture de 60 m² de la surface, cette dernière inclinée de 40° et orienté au plein sud

A travers ce projet d'étude nous avons traité les points suivants :

- Donner des généralités sur le gisement solaire et sur la conversion photovoltaïque.
- Nous avons présenté aussi les différents composants nécessaires d'un système PV connectée au réseau public et nous avons défini le logiciel solar calc Et leurs étapes de fonctionnement.
- Détermination de la charge électrique de la maison (besoin énergétiques).

Une bonne étude ; rendras le projet plus rentable pour ainsi amortir le cout de l'investissement dans les plus brefs délais.

Etude bibliographie

- [1] S.R. Wenham, M.A. Green, M.E. Watt et R. Corkish, *_Applied photovoltaics_*,
Édition *_Earthscan_*, 2007.
- [2] Y. Jannot, *_Thermique solaire*, 2^{ème} Edition DUNOD 2007.
- [3] Pierre Bessemoulin et Jean Oliviéri. 'Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette', Météo-France, Service central d'exploitation de la météorologie Toulouse, La Météorologie 8eme série - n°31 - septembre 2000.
- [4] Dariga meekhun, réalisation d'un système de conversion et de gestion de l'énergie d'un système photovoltaïque pour l'alimentation de réseaux de capteurs sans fil autonomes pour l'application aéronautique. Université de Toulouse, thèse de doctorat 2010.
- [5] José Miguel Navarro « Cellules Photovoltaïques Organiques Transparentes Dans Le Visible ». Thèse de doctorat. Université Toulouse III - Paul Sabatier, 2008.
- [6] Marcelo Gradella Villalva, Jonas Rafael Gazoli, and Ernesto Ruppert Filho «Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays ». IEEE Transaction on power electronics, Vol.24, No 5, 1198-1208, May 2009.
- [7] Thibaut Desrues « Développement de cellules photovoltaïques à hétérojonctions silicium et contacts en face arrière ». Thèse de doctorat, L'institut national des sciences appliquées de Lyon, 2009.
- [8] Rémi Bettignies « Cellules photovoltaïques organiques dérivées de nouveaux systèmes conjugués ». Thèse de doctorat, Ecole Doctorale d'Angers, 2003.
- [9] Introduction au gisement solaire algérienne théorie et application Dr. Meradnée Mesri mokhtaria. Centre développement des énergies renouvelables 2011.

[10] A. Labouret, P. Cumunel, J.P. Braun et B.Faraggi, _Cellules solaires : les bases de l'énergie photovoltaïque_, 5eme édition, éditions techniques et scientifiques françaises.

[11] http://www.ecosources.info/dossiers/Types_de_cellules_photovoltaiques

[12] le manuel de technicien photovoltaïque (P E R A C O D)

[13] Formateur Concepteur : M. OULAMI Nassim IFEG/Ecole Technique de Blida

[14] Mémoire de Magister Présente par Mme : Debli Narimene

Thème : Etude et optimisation en environnement Matlab / Simulink d'un système de pompage photovoltaïque. En 2015.Université Constantine I.

[15] <http://photovoltaique.guidenr.fr/coursphotovoltaique.php>

[16] Option électricité solaire présenté par Mme Farida Boukhtouche cherfa.

Thème : Etude et réalisation d'une centrale photovoltaïque connectée au réseau de distribution électrique BT. En 2004. ENP El-Harrach.

[17] Diplôme d'ingénieur d'état Présenté par A.Tsamda et Mahmoud

Thème : Développement d'un logiciel de dimensionnement des installations photovoltaïques. En 2007. ENP El-Harrach

[18] site internet www.cder.dz

[19] site internet www.PvGis.com

Résume :

La production d'électricité à partir d'énergies renouvelables offre une plus grande sûreté d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant l'environnement.

Dans ce mémoire, nous présentons la simulation d'un système photovoltaïque connecté au réseau public d'une maison individuelle en prenant compte de tous les paramètres et les coefficients selon les normes en vigueur à l'aide d'un logiciel très fiable : Solar Calc.

Les résultats obtenu à partir de simulation détermine avec précision les composants de système photovoltaïque pour réduire le cout d'investissement et de prolonger la durée de vie de ce dernier.

Abstract :

Electricity production from renewable energy offers consumers greater security of supply while respecting the environment.

In this memory we present the simulation of a photovoltaic system connected to the public electricity network of a single house by taking account of all parameters and coefficients according to the standards in force with very reliable software: Solar Calc.

The results obtained from simulation accurately determine the components of the photovoltaic system to reduce the investment cost and prolong the lifetime of the latter.

المخلص

انتاج الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة يوفر أمن أكبر للمستهلكين مع احترام للبيئة

في هذه المذكرة يتم تقديم محاكاة لنظام كهروضوئي لمنزل فردي متصل بالشبكة الكهربائية

مع الأخذ بعين الاعتبار جميع العوامل و المعاملات باستخدام **Solar calc**

نتائج المحاكاة تحدد مكونات النظام الكهروضوئي بدقة لتخفيض تكلفة الاستثمار و تمديد عمر المحطة.

ANNEXE

Tarifs d'achat garantis

I- Tarif d'achat garanti par tranche de puissance et selon le potentiel en DA / kWh

Tarif 1 : Installations photovoltaïques au sol d'une capacité de 1 à 5 MWC

LIMITE REGLEMENTAIRE D'AJUSTEMENT	NOMBRE D'HEURES DE FONCTIONNEMENT (kWh / kW / an)	TARIF D'ACHAT GARANTI (DA / kWh)	
		PHASE I	PHASE II
- 15 %	1275 - 1349	15,94	20,08
	1350 - 1424		18,83
	1425 - 1499		17,45
Potentiel de référence	1500 - 1574		15,94
+ 15 %	1575 - 1649		14,43
	1650 - 1724		13,06
	≥ 1725		11,80

Dédicaces

A celle qui attend mon retour a chaque coucher de soleil, À celle qui m'a comblée d'affection, d'amour et de tendresse, et qui a veillée a côté de mon berceau pour consoler mes cris de douleurs, et qui n'a jamais cessé de m'encourager

Ma chère mère

A celui qui fait le plus brave des hommes, m'ouvrant ses bras dans les sombres moments et m'aidant à aller de l'avant vers le meilleur, et qui ma tant soutenu moralement et matériellement

Mon cher père

*A mes chers frères oka ; Hichem
Et ma sœur*

A tous mes amis el Mounir ; Nacer ; Abdelhak ; Oussama et Oussama ; Ahmed ; Rabah ; Hamza ; Salim ; el Yousfi ; Miringí ; Hocine

A tous mes collègues Amine, Abdelwahab ; merouane ; Zerrouki ; Ouassila ; Zakí ; Romaïssa ; Batoul ; Lydia ; Imane.

Mes grands parents.

A toute ma famille.

Bouchaïta Abderrahmane