



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université SaâdDahlab, Blida-1  
Faculté de Technologie  
Département des Énergies Renouvelables

Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de  
Master Académique  
Filière : Energies Renouvelables  
Option : Energies Renouvelables et Habitat Bioclimatique

Présenté par : **BENGUEGA Abderrahim**

**SAYOUD Yasser**

Thème :

**Etude de la faisabilité technique et économique de  
l'exploitation du toit du pavillon 23 de l'université de  
Blida 1 pour la production d'électricité photovoltaïque  
à injecter dans le réseau.**

*Soutenu devant le jury composé par :*

Monsieur Dr.LAFRI Djemal USDB Président  
Monsieur Dr.AIT SAHED Oussama USDB Examineur  
Dr.GUENOUNOU Abderrezak MCB USDB Promoteur

**Année universitaire : 2020 /2021**



## REMERCIEMENTS

*Nous tenons tout d'abord à remercier **ALLAH** de nous avoir guidés et donné la force et la volonté pour atteindre notre objectif*

*Mes sincères remerciements vont :*

*- à Monsieur, **LAFRI Djemal***

*Pour avoir accepté de présider ce jury ;*

*- à Monsieur, **AIT SAHED Oussama***

*Pour avoir accepté de faire partie du jury et d'examiner ce travail avec attention ;*

*- à nos promoteur, Monsieur **GUENOUNOU Abderrezak***

*Pour ses conseils et pour leur disponibilité.*

## DEDICACES

A ma très chère famille, mon père, ma mère et mes frères.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études, mes aimables amis, collègues d'étude, et frères de cœur, vous **Yahia, Oussama et Abderrahime**.

**YASSER**

## DEDICACES

A ma très chère famille, mon père, ma mère et mes frères.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études, mes aimables amis, collègues d'étude, et frères de cœur, vous **Yahia, Oussama** et **Yasser**.

**Abderrahim**

# RESUME

## الملخص

تعتبر أسطح المباني الجامعية غير المستخدمة في الجزائر مكانًا مثاليًا لتركيب الحقول الكهروضوئية المتصلة بالشبكة، وبأخذ الامكانيات الشمسية الهائلة لبلدنا بعين الاعتبار، فإن هذه العملية تمثل فرصة حقيقية لتحسين الكفاءة الطاقوية و لتحقيق ارباح مالية مهمة للجامعات الجزائرية. تهدف هذه المذكرة الى دراسة امكانية تثبيت نظام كهروضوئي متصل بالشبكة على سطح قسم الطاقات المتجددة، و من اجل الانشاء المثالي لهذه المحطة قمنا بعمل تحجيم بواسطة برنامج

pvsyst

لدراسة الجدوى لهذه المحطة المستقبلية قمنا باستخدام برنامج

RETScreen expert

:كلمات مفتاحية

. الحقول الكهروضوئية , الكفاءة الطاقوية , الطاقات المتجددة , متصل بالشبكة

## Résumé

Les toits des bâtiments universitaires inutilisés en Algérie sont un lieu idéal pour l'installation des champs photovoltaïques raccordés au réseau, et compte tenu de l'énorme potentiel solaire de notre pays, ce procédé représente une réelle opportunité d'améliorer l'efficacité énergétique et de réaliser d'importants profits financiers pour les universités algériennes. Ce mémoire vise à étudier la possibilité d'installer un système photovoltaïque raccordé au réseau sur le toit du département des énergies renouvelables, et pour la construction parfaite de cette installation, nous avons fait un dimensionnement par logiciel pvsyst, et pour étudier la faisabilité de cette future installation, nous avons utilisé logiciel

RETScreen expert.

Mots clés: Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau, potentiel solaire, dimensionnement, RETScreen expert.

## Abstract

The roofs of unused university buildings in Algeria are an ideal place for the installation of photovoltaic fields connected to the grid, and given the enormous solar potential of our country, this process represents a real opportunity to improve energy efficiency and to achieve significant financial profits for Algerian universities. This thesis aims to study the possibility of installing a photovoltaic system connected to the network on the roof of the renewable

## **RESUME**

energies department, and for the perfect construction of this installation, we made a de-dimensioning by pvsyst software, and to study the feasibility of this future installation, we used software RETScreen expert.

Keywords: photovoltaic fields, connected to the grid, solar potential, energy efficiency , renewable energies, used software RETScreen expert.

# SOMMAIRE

1	CHAPITRE 1 : <i>Energie solaire photovoltaïque, état de l'art et perspectives</i>	3
1.1.	Introduction	3
1.2.	Le potentiel solaire en Algérie	3
1.3.	Le positionnement de l'énergie solaire	5
1.3.1.	L'énergie solaire photovoltaïque dans le monde	5
1.3.2.	L'énergie solaire photovoltaïque dans l'Algérie	7
1.3.3.	Projets réalisés	8
1.4.	Conclusion	9
2	CHAPITRE 2 : <i>Généralités sur les systèmes photovoltaïques</i>	10
2.1	Introduction	10
2.2	Le système de production (Le champ PV)	11
2.2.1	Effet et cellule photovoltaïques	11
2.2.2	Module photovoltaïque	12
2.3	Les systèmes photovoltaïques	14
2.3.1	Système autonome	14
2.3.1.1	Le champ PV	14
2.3.1.2	Le système de stockage	15
2.3.1.3	Le système de régulation	19
a.	Le régulateur	19
c.	Principe de fonctionnement du régulateur	20
d.	Les types de régulateurs	21
✓	Type de régulateur MPPT	21
✓	type de régulateur PWM	22
2.3.1.4	Le système de conversion	23
a.	Onduleurs	23
2.3.2	Système PV raccordée au réseau	26



# SOMMAIRE

2.3.3	Système photovoltaïque au fil de soleil (Pompage PV)	27
2.4	Modes d'intégration des systèmes PV dans le bâtiment	29
2.4.1	La démarche d'intégration	29
2.4.1.1	La technologie BIPV (building integrated photovoltaics)	29
2.4.1.2	Le concept d'intégration	30
2.5	Information supplémentaire sur les modules photovoltaïques	35
2.6	Conclusion	39
3	Chapitre 3 : <i>Etude de la possibilité d'exploitation du toit de pavillon 23 pour la production d'électricité photovoltaïque</i>	40
3.1	Introduction	40
3.2	Objectifs et justification de la démarche	40
3.2.1	Réduction des émissions des gaz à effet de serre	40
3.2.2	Prix d'électricité en l'Algérie	41
3.3	Estimation de la surface des toits disponibles	41
3.3.1	Surface totale	41
3.3.2	Surface exploitable	42
3.4	Estimation de la puissance crête pouvant être installée	42
3.4.1	Choix du type des modules	42
3.4.2	Choix du mode d'installation	44
3.4.3	Nombre des modules et la Puissance crête totale	45
3.4.3.1	Nombre des modules	45
3.4.3.2	la puissance crête totale	46
3.5	Dimensionnement du système PV	46
3.5.1	détermination du champ pv	47
3.5.2	Choix de l'onduleur	47
3.5.3	Assemblage des panneaux	47
3.5.4	Choix des câbles	49

# SOMMAIRE

3.5.4.1	Calcul de la section des câbles entre champ PV et boîte de jonction	49
3.5.4.2	Calcul de la section des câbles entre la boîte de jonction et l'onduleur	50
3.5.5	Les éléments de protection électrique	50
3.5.6	Résultats de simulation	51
3.6	Conclusion	53
4	CHAPITRE 4 : <i>Étude technicoéconomique</i>	54
4.1	Introduction	54
4.1.1	Type d'installation	54
4.2	Présentation du logiciel RETScreen EXPERT	55
4.2.1	Aperçu du logiciel RETScreen	55
4.2.2	Étude de faisabilité	56
4.3	Configuration du logiciel	56
4.3.1	Paramètres d'entrées	57
4.3.2	L'évaluation des ressources	57
4.4	Analyse de faisabilité	59
4.4.1	LA PHASE 1 : Étude Technique	60
4.4.2	Présentation de l'installation étudiée	60
4.4.2.1	Présentation technique et dimensionnement du projet	61
4.4.3	PHASE 2 : Étude économique et financière	62
4.4.3.1	Le coût de référence	62
4.4.3.2	Analyse financière	63
4.4.3.3	Flux monétaires	64
4.4.4	PHASE 3 : Bilan et analyse Environnemental	67
4.4.4.1	La réduction des GES	67
4.4.5	Discussion et analyse des résultats	68
4.4.5.1	Discussion	68
4.4.5.2	Analyse des résultats RETScreen	69

## SOMMAIRE

### 4.5 Conclusion

69

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 :Irradiation solaire globale reçue sur plan incliné dans les différentes régions d'Algérie(moyennes annuelles) [7]	4
Figure 2 :Evaluation de l'installation photovoltaïque annuelle mondiale en GW[10].	6
Figure 3 :capacité photovoltaïque mondiale installée en 2019[10].	7
Figure 4 :Objectifs du programme algérien des énergies renouvelables (22 GW à l'horizon 2030) [11].	8
Figure 5 :Installation photovoltaïque.	10
Figure 6 :Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.	11
Figure 7 :Exemple de modules PV montés sur support fixe	13
Figure 8 :la Connectivité entre les modules	13
Figure 9 :Système PV autonome	14
Figure 10 :Schéma d'un champ photovoltaïque	15
Figure 11 :Batterie de stockage	16
Figure 12 :principe de fonctionnement de batterie	16
Figure 13 :Schéma de Raccordement des batteries	19
Figure 14 :Schéma de position de régulateur	21
Figure 15 :Type de régulateur MPPT	22
Figure 16 :Type de régulateur PWM	22
Figure 17 :Schéma (symbole) d'onduleur	23
Figure 18 :Schéma d'onduleur	24
Figure 19 :les différentes technologies d'onduleurs	24
Figure 20 :Onduleurs centralisés	25
Figure 21 :Onduleurs "String" - ou " de Rangée"	25
Figure 22 :Système PV raccordée au réseau	26
Figure 23 :stockage d'eau par générateur photovoltaïque avec pompe	27
Figure 24 :Les composants du pompage DC/DC	28
Figure 25 :Les composants du pompage DC/AC	28
Figure 26 :l'inclinaison des panneaux solaire	32
Figure 27 :Le rendement par rapport à l'orientation de l'installation des modules.	32
Figure 28 :Exemples d'ombres	33
Figure 29 :Exemple de façade ventilée	34
Figure 30 :Exemples Les modules photovoltaïques	35

## LISTE DES FIGURES

Figure 31 :Le PV pour les tuiles	36
Figure 32 :Le PV pour les toitures vitrage	36
Figure 33 :Le PV pour les façades (élément)	37
Figure 34 :Le PV pour les façades vitrages	37
Figure 35 :Vue par satellite de pavillon 23	41
Figure 36 :module pv poly-cristallin	42
Figure 37 :La structure est en aluminium ou en alliage d'aluminium	44
Figure 38 :Interface de logiciel pvsyst 7.2	45
Figure 39 :Le champ pv étudié	46
Figure 40 :La sélection de l'onduleur	46
Figure 41 :Assemblage des panneau	47
Figure 42 :production normalisée	51
Figure 43 :Schéma de l'installation étudiée	54
Figure 44 :Les données climatiques (le rayonnement solaire quotidien et la température de l'air) utilisées par le logiciel pour ce projet d'universitéBlida	58
Figure 45 : Comparaison des prix des différentes technologies de production	62
Figure 46 : Flux monétaires annuel	64
Figure 47 :Flux monétaires cumulatifs	65
Figure 48 :Le sommaire de comparaison de réseau électrique de référence et de cas proposé.	67
Tableau 1 :durée moyenne d'ensoleillement pour les différentes régions d'Algérien	4
Tableau 2:Bilan d'étude des capacités installées en Algérie fin de 2018[13].	8
Tableau 3:Une comparaison des avantages et des inconvénients de chaque type de batterie	16
Tableau 4 :la surface totale du toiture de pavillon 23	40
Tableau 5 :fiche thecnique de panneau YL340P12B-35b[23]	41
Tableau 6 :Résultas de simulation par logiciel pv syst 7.2	51
Tableau 7 :Configuration de la page paramètres dans logiciel RETScreen.	56
Tableau 8 :Les données climatiques de Blida la base de données RETScreen	57
Tableau 9 :Informations personnalisées de l'étude du projet d'installation PV.	59
Tableau 10 :Données générales de l'installation	60
Tableau 11 :Détails des équipements	61
Tableau 12 :Les coûts obtenus de l'analyse financière du projet.	63

## **LISTE DES FIGURES**

Tableau 13 : Paramètres financiers de l'installation PV

66

## *Introduction*

---

L'énergie est l'un des moteurs de développement des sociétés, elle est aussi le pilier de l'économie moderne. Elle est l'étincelle qui permet l'accomplissement de toute activité humaine. Ses sources se sont diversifiées au cours du temps afin de satisfaire les besoins toujours en augmentation de l'industrie et des consommateurs.

La recherche des ressources d'énergie alternatives est devenue donc une question cruciale de nos jours. Beaucoup de recherches scientifiques ont été menées, non seulement dans le domaine de la production d'énergie nucléaire, mais également dans le secteur des sources d'énergie illimitées, telles que la production d'électricité par le vent et la transformation d'énergie solaire [1].

L'énergie solaire photovoltaïque est l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque. Le terme photovoltaïque peut désigner soit le phénomène physique, l'effet photovoltaïque découvert par Alexandre Edmont Becquerel en 1839. Selon les estimations l'énergie rayonnée par le soleil représenterait chaque année 40 000 fois les besoins énergétiques que l'humanité consomme sous forme d'énergies fossiles [2].

Selon les estimations, l'énergie rayonnée par le soleil représenterait chaque année 40 000 fois les besoins énergétiques que l'humanité consomme sous forme d'énergies fossiles. Malgré cela, l'énergie solaire reste un domaine assez peu exploité.

Les trois genres de systèmes photovoltaïques que l'on rencontre généralement sont les systèmes autonomes, hybrides et connectés à un réseau. Les deux premiers sont indépendants du service public de distribution d'électricité ; on les retrouve souvent dans les régions éloignées.

Selon sa situation géographique, l'Algérie s'intéresse à l'énergie solaire grâce à ses deux atouts naturels : l'espace avec 2.381.741 km<sup>2</sup> de surface et les heures d'ensoleillement qui dépassent les 2000 heures/an, pouvant atteindre les 3900 heures/an sur les hauts-plateaux et le Sahara.

## INTRODUCTION GENERALE

---

La qualité du rayonnement solaire algérien lui permet de se classer parmi les trois pays qui disposent des meilleurs gisements solaires dans le monde. L'agence spatiale Allemande, ASA, a conclu que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen[3], soit :

- 169 000,00 TWh/an pour le solaire thermique
- 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque
- 35,00 TWh/an pour l'éolien.

Actuellement les proportions de l'électricité selon l'origine sont la suivante : 99,6% d'origine fossile, 0,4% d'origine hydraulique et 0,01% d'origine solaire.

Notre travail porte essentiellement sur une étude sur le potentiel de développement de systèmes photovoltaïques sur les toits des bâtiments de l'université de Blida 1 et ses avantages environnementaux.

Dans le premier chapitre, nous allons présenter un état de l'art et perspectives sur énergie solaire photovoltaïque et nous avons donné les derniers chiffres concernant la production et les installations à l'échelle mondiale et nationale.

Le deuxième chapitre sera consacré à la description du système solaire photovoltaïque, son principe de fonctionnement, et les composants nécessaires pour faire fonctionner ce système.

Dans le troisième chapitre, nous allons étudier la possibilité d'exploitation du toit du pavillon 23 pour la production d'électricité photovoltaïque.

Et enfin, dans le quatrième chapitre nous allons faire une étude technicoéconomique.



# **1 CHAPITRE 1 :*Energie solaire photovoltaïque, état de l'art et perspectives***

## **1.1. Introduction**

L'énergie solaire photovoltaïque est l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque. Le terme photovoltaïque peut désigner soit le phénomène physique, l'effet photovoltaïque découvert par Alexandre Edmont Becquerel en 1839[3].

La demande grandissante d'énergie, notamment dans le domaine du bâtiment, fait que les ressources d'énergie fossile seront bientôt épuisées. De plus, l'utilisation mondiale de combustibles fossiles est la cause de graves dommages environnementaux et d'un réchauffement climatique au niveau mondial. Bien que les énergies renouvelables soient la meilleure solution pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre et satisfaire le besoin énergétique qui ne cesse d'augmenter.

Le potentiel national en énergies renouvelables étant fortement dominé par le solaire, l'Algérie considère cette énergie comme une opportunité et un levier de développement économique et social, notamment à travers l'implantation d'industries créatrices de richesses et d'emplois[4].

Dans ce chapitre nous allons parler de la production d'énergie solaire photovoltaïque et des installations à l'échelle mondiale et nationale.

## **1.2. Le potentiel solaire en Algérie**

L'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde, grâce à sa situation géographique. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara) comme le montrent le tableau 1 et la figure 1

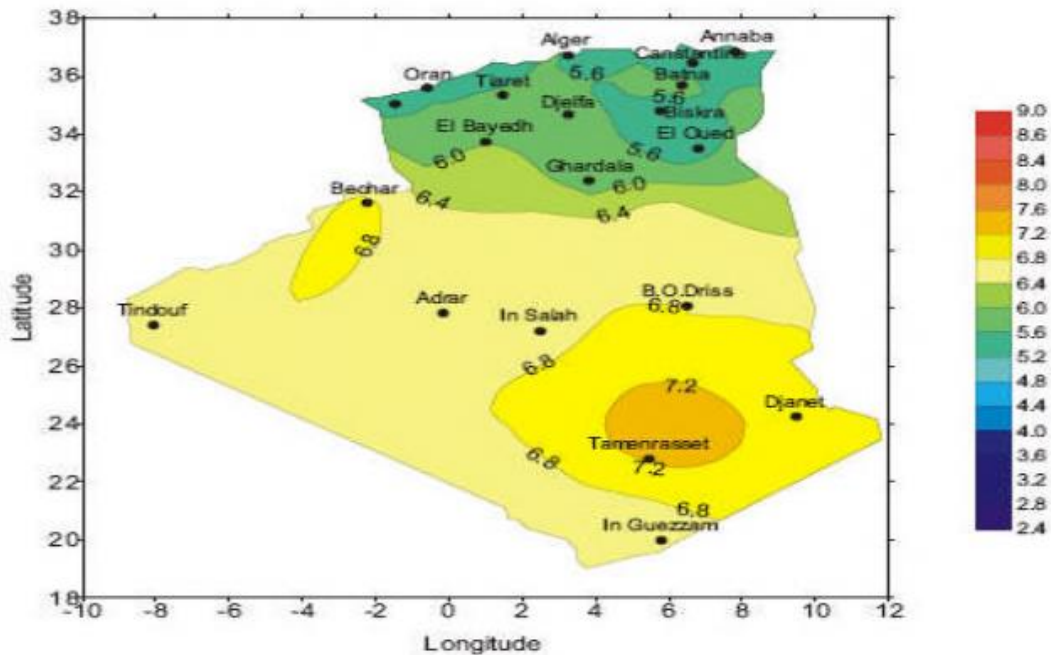
L'énergie solaire reçue quotidiennement sur une surface horizontale de  $1\text{m}^2$  est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national [5].

Avec un gisement solaire plus que favorable donc, des programmes qui couvrent des initiatives afin de promouvoir l'électricité solaire, notamment dans le cadre de l'électrification décentralisée, ont été lancés par le gouvernement.

Le volet de l'énergie solaire le plus utilisé dans notre pays est le solaire photovoltaïque mais les autres volets solaires (thermiques et thermodynamiques) restent toujours au stade d'expériences[6].

**Tableau 1** : durée moyenne d'ensoleillement pour les différentes régions d'Algérie

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Durée moyenne d'ensoleillement	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue	1700	1900	2650



**Figure 1** : Irradiation solaire globale reçue sur plan incliné dans les différentes régions d'Algérie (moyennes annuelles) [7]

## **1.3. Le positionnement de l'énergie solaire**

### **1.3.1. L'énergie solaire photovoltaïque dans le monde**

Actuellement, nous sommes face à un paradoxe : les pays les plus ensoleillés au monde sont généralement ceux qui possèdent le moins d'infrastructures de production d'énergie solaire. En effet, les 121 pays situés entre les deux tropiques bénéficient de 300 jours de soleil par an, mais ils sont loin d'être les plus équipés. Le solaire photovoltaïque, en plein essor, dispose donc encore d'une marge de manœuvre conséquente pour continuer son développement[8].

Selon SolarPower Europe[9], le volume des nouvelles capacités photovoltaïques ajoutées en 2020 sera inférieur de 4 % à celui de l'année dernière en raison de la crise du Covid-19. Fin 2019, la capacité d'énergie solaire mondiale a dépassé 630 GW. En 2020, environ 112 GW auraient été installées dans le monde, et en 2021, la capacité nouvellement installée pourrait atteindre 149,9 GW si les gouvernements ont soutenu les énergies renouvelables dans leurs plans de relance économique

D'après un rapport de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE), publié en mars 2018, la croissance des énergies renouvelables est globalement plus rapide que la croissance des énergies fossiles. Elles représentent 25 % de la consommation mondiale d'électricité. Parmi les énergies renouvelables, l'énergie solaire représente un quart de l'énergie consommée.

En 2018, quatre pays possédaient plus des deux tiers du total de la puissance solaire photovoltaïque mondiale installée. La Chine à elle seule concentre 35 % de cette puissance, viennent ensuite les États-Unis (12 %), le Japon (11 %) et l'Allemagne (9 %) comme le montre la figure 3

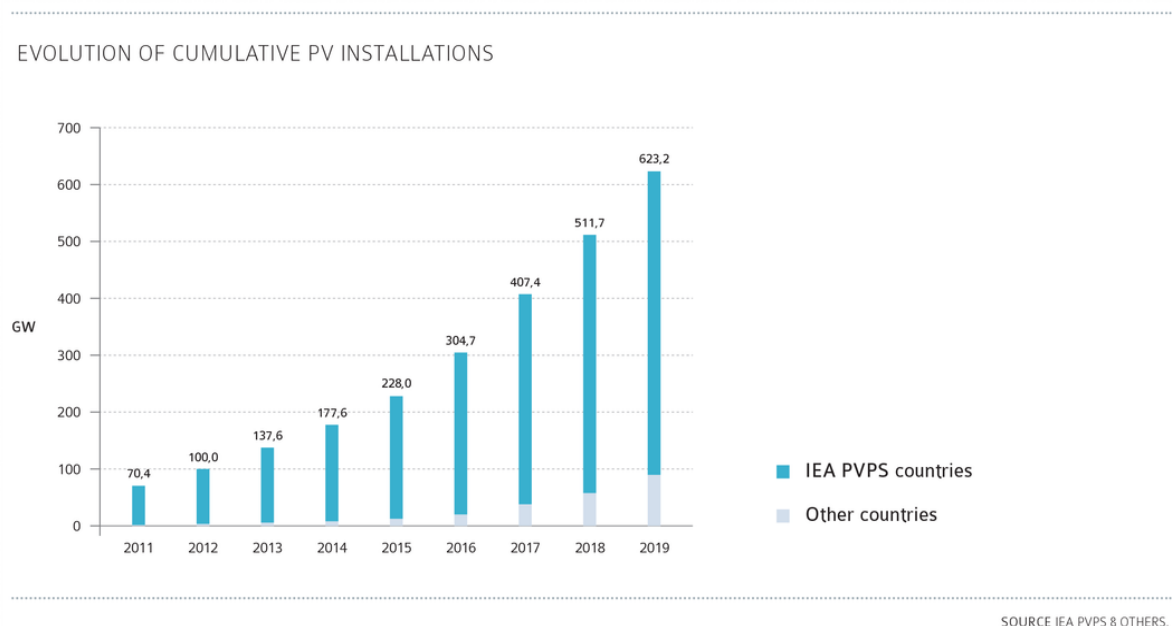
Le secteur de l'énergie solaire devrait encore croître fortement au cours des années à venir. Afin de couvrir l'ensemble des besoins mondiaux en électricité, il faudrait recouvrir une surface de 100 000 km<sup>2</sup> de panneaux solaires, ce qui correspond à l'équivalent de la surface de l'Islande.

L'Asie-Pacifique est clairement la zone qui fait figure de chef de file. D'importants dispositifs de soutien gouvernemental à la filière photovoltaïque sont notamment en place en

Chine, en Inde, au Japon et en Australie. Ceci encourage un fort essor du solaire dans cette zone. Ainsi, cette région du monde concentre 58 % de la capacité totale installée en 2018.

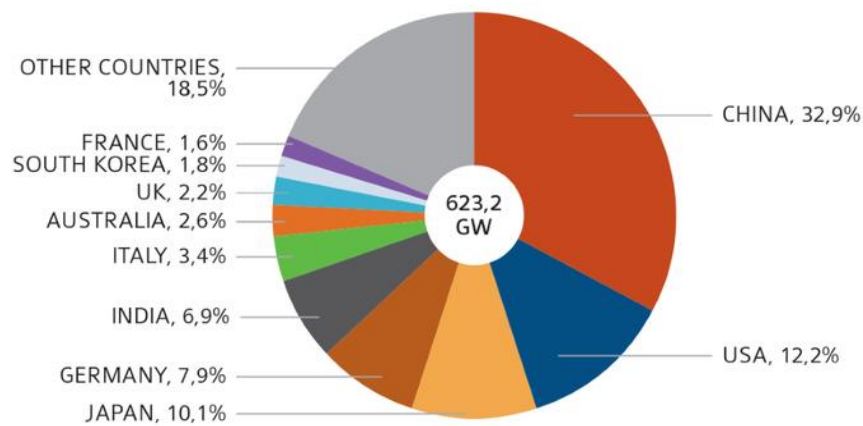
Parmi tous ces pays, la Chine fait clairement la course en tête, avec la construction de nombreuses centrales solaires d'envergure. Toutefois, la situation est paradoxale : la Chine fait partie des principaux pollueurs mondiaux, mais elle est également un des principaux pays producteurs d'énergie solaire. La croissance annuelle de sa capacité installée connaît un petit ralentissement : le pays a installé 42 GW de puissance solaire en 2018 contre 53 GW en 2017. Mais la croissance de la filière solaire reste très importante.

L'Inde bat également chaque année des records de croissance de sa capacité de production d'énergie solaire. Ses objectifs sont très ambitieux. Elle possède notamment une des plus grandes centrales solaires au monde, la centrale solaire de Shakti Sthala, avec une capacité de production de 200 MWc. Sa construction a nécessité un investissement de 2,53 milliards de dollars. Cette forte croissance est soutenue par des coûts très compétitifs de l'énergie solaire dans cette région[8].



**Figure 2 :** Evolution de l'installation photovoltaïque annuelle mondiale en GW[10].

CUMULATIVE PV CAPACITY END 2019



SOURCE IEA PVPS & OTHERS.

**Figure 3** :capacité photovoltaïque mondiale installée en 2019[10].

### **1.3.2. L'énergie solaire photovoltaïque dans l'Algérie**

Le gouvernement a adopté un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables en Algérie en février 2011.

Ce programme actualisé en mai 2015, consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de l'ordre de 22000 MW de différents types à l'horizon 2030 pour le marché national (voir figure 4), avec le maintien de l'option de l'exportation comme objectif stratégique, si les conditions du marché le permettent,mais le pays en est encore loin[11].

A cet effet, l'exploitation de l'énergie solaire en Algérie selon le programme précité passera par deux grandes phases :

- 1re phase (entre 2015 et 2020) : consiste à installer une capacité de 3000 MW en énergie photovoltaïque.
- 2e phase (entre 2021 et 2030) : l'installation d'une capacité de 10575 MW en énergie photovoltaïque et 2000 MW en énergie thermique.

Le 20 mai 2020, le ministre de l'Énergie algérien, Arkab Mohamed, a présenté au gouvernement le lancement d'un « méga projet » visant à réaliser des centrales solaires photovoltaïques d'une capacité totale de 4 GW sur la période 2020-2024. Le projet, nommé TAFOUK1, nécessiterait un investissement compris entre 3,2 et 3,6 milliards de dollars. Le gouvernement précise que 56 000 emplois devraient être créés pendant la phase de construction et 2 000 emplois pendant la phase d'exploitation. Les centrales à réaliser seront réparties sur une dizaine de wilayas (division administrative) et mobiliseront une surface totale de 6400 hectares environs.

Selon les statistiques de l'Agence Internationale pour les Energies Renouvelables (IRENA), le pays disposait d'une capacité de 423 MW fin 2019 [12].

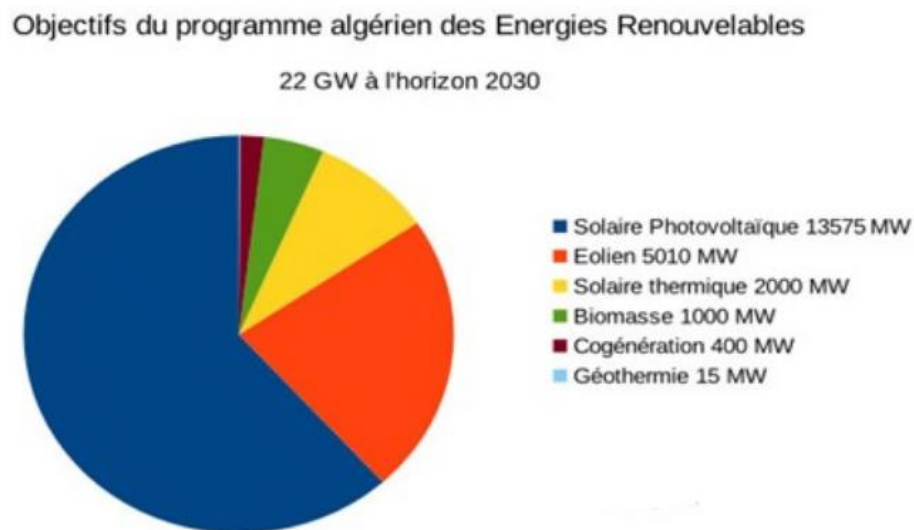


Figure 4 : Objectifs du programme algérien des énergies renouvelables (22 GW à l'horizon 2030) [11].

### 1.3.3. Projets réalisés

Un aperçu sur l'état des lieux des projets photovoltaïques en Algérie, jusqu'à l'année 2018 est donné sur le tableau 2

Tableau 2: Bilan d'étude des capacités installées en Algérie fin de 2018 [13].

Wilaya	Localité	Capacité Installée(MW)	Mise en Service
ILLIZI	Djanet	03	19/02/2015
ADRAR	Adrar	20	28/10/2015

ADRAR	Kabertene	03	13/10/2015
TAMANRASS ET	Tamanrasset	13	03/11/2015
TINDOUF	Tindouf	09	14/12/2015
ADRAR	Zaouiet.Kount a	06	11/01/2016
ADRAR	Reggane	05	28/01/2016
ADRAR	Timimoun	09	07/02/2016
TAMANRASS ET	In-Salah	05	11/02/2016
ADRAR	Aoulef	05	07/03/2016
LAGHOUAT	El Khnag (I)	20	08/04/2016
LAGHOUAT	El-Khnag (II)	40	26/04/2017
DJELFA	Ain-El-Ibel (I)	20	08/04/2016
DJELFA	Ain-El-Ibel (II)	33	06/04/2017
SOUK AHRAS	Oued El Keberit	15	24/04/2016
NAAMA	Sedrate Leghzal	20	03/05/2016
SAIDA	Ain-Skhouna	30	05/05/2016
SIDI-BEL- ABBES	Telagh	12	29/09/2016
EL BAYADH	Biodh Sidi Chikh	23	26/10/2016

#### **1.4. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu global sur l'état de l'art de l'énergie solaire photovoltaïque au niveau mondial et national.

Au prochain chapitre, nous donnerons quelques notions de bases sur les systèmes de production d'énergie solaire photovoltaïque, de l'effet photovoltaïque jusqu'aux modes d'intégration dans le bâtiment.

## 2 CHAPITRE 2 : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

### 2.1 Introduction

L'énergie photovoltaïque résulte de la transformation directe de la lumière du soleil en énergie électrique aux moyens des cellules généralement à base de silicium cristallin qui reste la filière la plus avancée sur le plan technologiques et industriel, en effet le silicium est l'un des éléments les plus abondants sur terre sous forme de silice non toxique [14.15].

Par définition, le mot "photovoltaïque" vient du grec "photo" qui signifie lumière et de "voltaïque" qui tire son origine du nom d'un physicien italien Alessandro

Volta (1754 -1827) qui a beaucoup contribué à la découverte de l'électricité, alors le photovoltaïque signifie littérairement « la lumière électricité ». Le principe de fonctionnement d'une installation solaire photovoltaïque est relativement simple : il s'agit de convertir le rayonnement du soleil en électricité.



**Figure 5 :** Installation photovoltaïque.

Cette opération repose sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque. Ce mécanisme a été découvert en 1839 par Antoine Becquerel mais il n'a été expliqué que près d'un siècle plus tard par Albert Einstein, ce qui lui a valu le Prix Nobel de physique en 1921



## 2.2 Le système de production (Le champ PV)

### 2.2.1 Effet et cellule photovoltaïques

L'effet photovoltaïque se manifeste quand un photon est absorbé dans un matériau composé de semi-conducteurs dopés p (positif) et n (négatif), dénommé comme jonction p-n (ou n-p). Sous l'effet de ce dopage, un champ électrique est présent dans le matériau de manière permanente (comme un aimant possède un champ magnétique permanent).

Quand un photon incident (grain de lumière) interagit avec les électrons du matériau, il cède son énergie à l'électron qui se retrouve libéré de sa bande de valence et subit donc le champ électrique intrinsèque. Sous l'effet de ce champ, l'électron migre vers la face supérieure laissant place à un trou qui migre en direction inverse. Des électrodes placées sur les faces supérieure et inférieure permettent de récolter les électrons et de leur faire réaliser un travail électrique pour rejoindre le trou de la face antérieure.

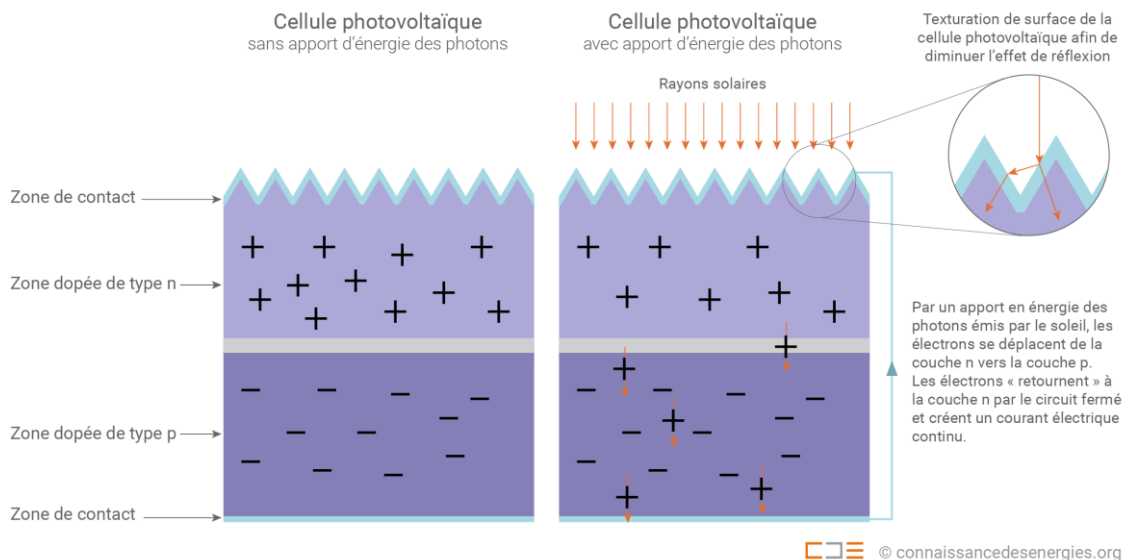


Figure 6 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.

Une cellule photovoltaïque est constituée d'un de ces matériaux, généralement du silicium, et conçue de telle façon que les électrons émis soient récupérés pour former un courant électrique. Les cellules sont assemblées pour créer un courant suffisamment élevé pour être

exploité, cet assemblage de cellules est appelé module photovoltaïque ou, plus souvent, panneau solaire.

### **2.2.2 Module photovoltaïque**

Un module solaire photovoltaïque (ou panneau solaire photovoltaïque) est un générateur électrique de courant continu constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles électriquement, qui sert de module de base pour les installations photovoltaïques et notamment les centrales solaires photovoltaïques.

Les panneaux solaires dans le champ PV sont du même type et de même taille et ont les mêmes propriétés électriques, sans oublier que tous les panneaux ont la même direction et le même angle d'inclinaison. Tout cela augmente l'efficacité et la qualité du champ PV.

Les modules photovoltaïques sont assemblés sur un support généralement métallique, de nombreux types de châssis existent et sont fonction du nombre de modules et de leur taille, du support d'implantation (dalle, mur, toit, ...), de leur hauteur, et de leur inclinaison. Leur hauteur doit être telle que les modules solaires soient hors de portée d'éléments indésirables (flore, faune ...). Leur inclinaison est généralement fixe et déterminée par le dimensionnement.

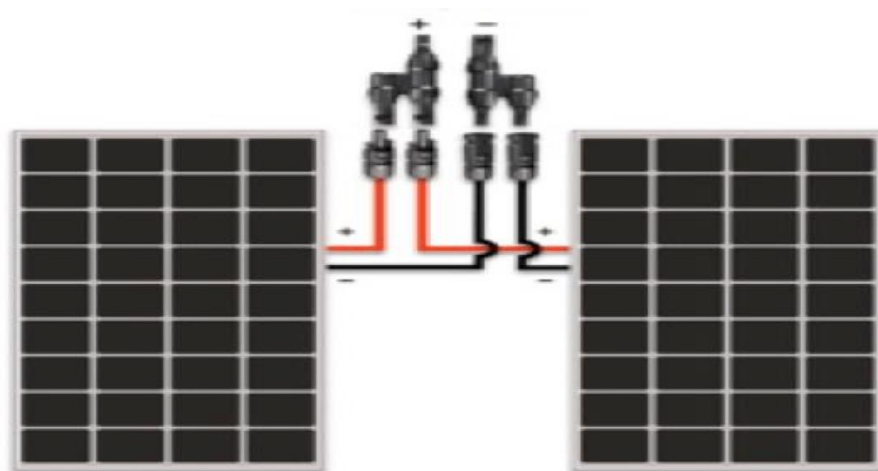
La figure 6 montre un exemple de modules photovoltaïques montés sur un support métallique fixe.



**Figure 7 :**Exemple de modules PV montés sur support fixe

Afin de disposer d'une puissance électrique compatible aux besoin d'utilisation, des assemblages en série et en parallèle sont réalisés. Ainsi, la tension de sortie est fonction du nombre de modules PV en série et le courant de sortie est fonction du nombre de branches en parallèle.

Lors de la liaison entre deux modules PV, on utilise des connecteurs simples. Pour les liaisons entre les panneaux, on utilise les cannettes multi branches (figure 7).



**Figure 8 :**la Connectivité entre les modules

## 2.3 Les systèmes photovoltaïques

On distingue trois modes d'exploitation d'un système PV : Autonome, connecté au réseau et hybride

### 2.3.1 Système autonome

Le rôle des systèmes autonomes est d'alimenter un ou plusieurs consommateurs situés dans une zone isolée du réseau électrique. Comme on peut le remarquer sur la Figure suivante qui représente l'exemple d'un système PV autonome : Il est composé d'un système de stockage, associé aux générateurs PV pour assurer l'alimentation à chaque instant et pendant plusieurs jours malgré l'intermittence de la production. Ce système de stockage représente une part très importante du coût de l'installation, et ces conditions de fonctionnement sont très contraignantes. Par conséquent, des systèmes de gestion de l'énergie ont été développés afin d'optimiser la durée de vie du système de stockage et de réduire les coûts de fonctionnement [16].

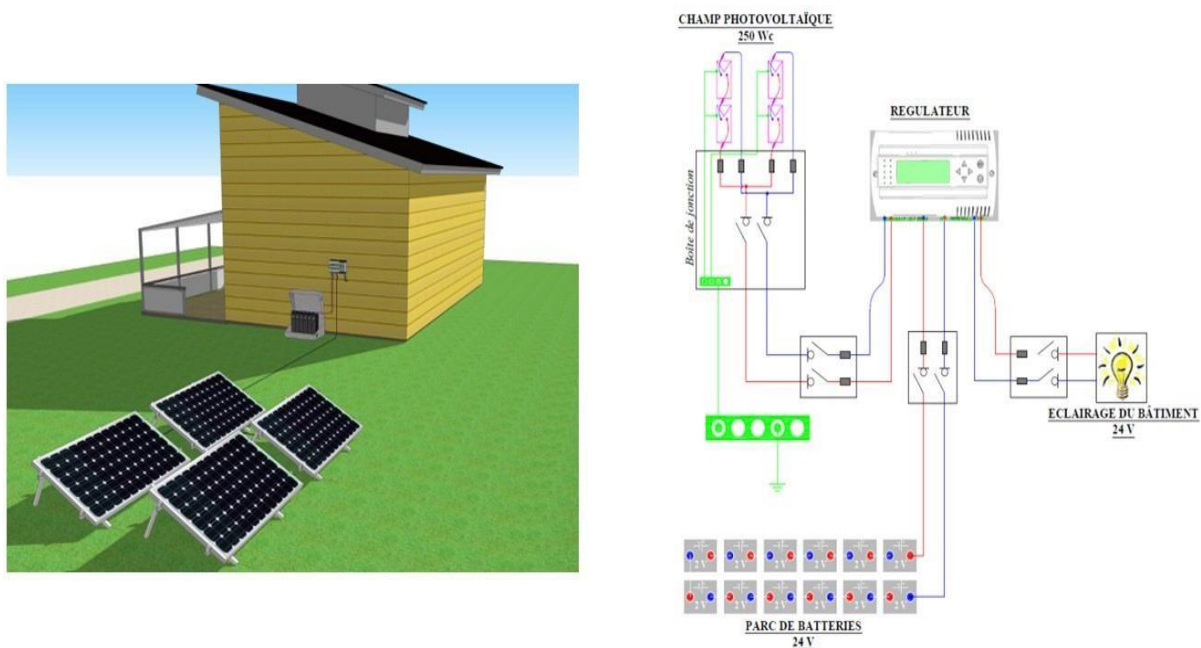


Figure 9 :Système PV autonome

#### 2.3.1.1 Le champ PV

Le champ photovoltaïque représente l'unité de production DC d'un système. Pour obtenir des puissances de quelques kW à quelques MW, sous une tension convenable, il est

nécessaire d'associer les modules en panneaux et de monter les panneaux en rangées de panneaux série et parallèle pour former ce que l'on appelle parfois une centrale.



**Figure 10 :** Schéma d'un champ photovoltaïque

### **2.3.1.2 Le système de stockage**

Les accumulateurs électrochimiques (Batteries) sont des générateurs "réversibles" c'est-à-dire pouvant stocker de l'énergie électrique sous forme chimique puis la restituer à tout moment sur demande grâce à la réversibilité de la transformation. Contrairement aux photopiles, où il n'y a qu'un transport d'électron ne donnant lieu à aucune « usure », dans les accumulateurs électrochimiques, il y a transfert de matière de l'électrolyte vers les électrodes et par conséquent une « usure » incontournable qui limite leur durée de vie.





Figure 11 : Batterie de stockage

### a.Principe de fonctionnement

Une batterie ou un accumulateur, qui se caractérise donc tout d'abord par deux couples « oxydant-réducteur » (par exemple Plomb/Oxyde de plomb, carbone/Oxyde de cobalt lithium ou Carbone/Phosphate de fer lithiné ...) échangeant des électrons. L'association de deux plaques (ou de deux matériaux d'insertion pour la batterie li-ion) constitue l'entité primaire d'une batterie. Les deux électrodes baignent dans une solution électrolytique (ou électrolyte), liquide ou sous forme de gel. C'est la réaction entre la solution et les électrodes qui sont à l'origine du déplacement des électrons et des ions dans la solution. Ainsi, l'électrolyte a pour fonction d'assurer la conduction ionique et, plus généralement, de participer à la réaction chimique. Un isolant poreux (ou séparateur) permet de séparer les deux électrodes tout en autorisant le passage des ions (figure 11).

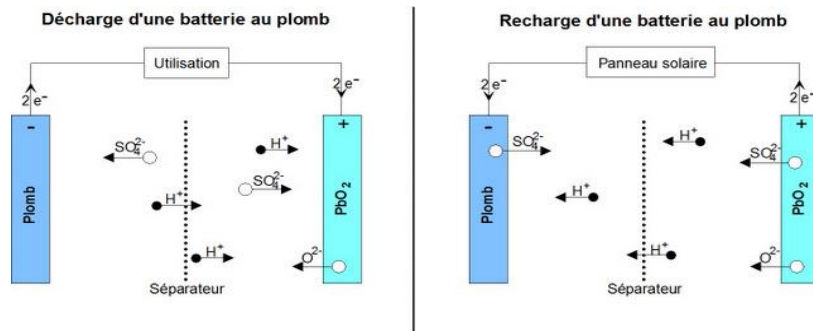


Figure 12 :principe de fonctionnement de batterie

### b.Les types des batteries

Les principaux types de batterie utilisés dans le monde ainsi que leurs avantages et inconvénients sont donnés dans le tableau 3.

Tableau 3:Une comparaison des avantages et des inconvénients de chaque type de batterie

Le Type	Avantage	Inconvénient
---------	----------	--------------

<b>Batterie à décharge lente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durée de vie (5 à 10 ans) -</li> <li>- Prix correcte</li> <li>- Supportent bien les surchauffes, inertie thermique élevée</li> <li>- Nombreux charge de cycle (entre 500 et 1000 cycles)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Recharger régulièrement ces batteries en eau distillée</li> <li>- Lourde (poids)</li> <li>- Sensible au froid</li> </ul>
<b>Batterie Gel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durée de vie (8 à 12 ans)</li> <li>- Pas d'entretien</li> <li>- Bonne tolérance aux températures élevées</li> <li>- Nombreux charge de cycle (entre 500 et 1200 cycles)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chère</li> <li>- Lourde (poids)</li> <li>-Peu adaptée aux courants de charge/décharge élevés</li> </ul>
<b>Batterie Lithium-ion</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durée de vie (30 ans)</li> <li>- Légère</li> <li>- Pas d'entretien</li> <li>- Faible autodécharge</li> <li>- Bonne tolérance à la température basse est élevée.</li> <li>- Charge de cycle très élevé (entre 2500 et 5000 cycles)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Très onéreuse</li> </ul>

### c.Capacité des batteries

La capacité est une quantité d'électricité, exprimée en Ah, pour un régime donné. Elle correspond au total des Ah disponibles lorsque la batterie est déchargée à un certain régime (ou à un certain courant) à partir de 100% d'état de charge jusqu'à la tension limite de fin de décharge.

Généralement, la capacité est calculée en multipliant le courant de décharge par le temps de décharge. Elle dépend de la température ainsi que du régime et elle est maximale quand la batterie est neuve. Les fabricants de batteries fournissent souvent la capacité nominale qui est obtenue à un courant de décharge nominal, respectant les limites de tensions spécifiées et dans des conditions de température données[17].

#### **d. Résistance interne**

La résistance interne de la batterie est liée aux matériaux constituant la batterie et aux réactions au sein de celle-ci. Elle dépend du régime de charge/décharge, de la température, de l'état de santé et de l'état de charge. Elle donne une indication du rendement énergétique de la batterie. En effet, avec la résistance, les pertes par effet Joule augmentent ce qui diminue le rendement. Il à noter que la capacité et la résistance interne d'une batterie sont deux données particulièrement importantes pour quantifier son état de santé. Elles sont également liées à l'état de fonction SOF (State Of Fonction) puisque la résistance est l'image de la puissance maximale disponible[17].

#### **e. Tension en circuit ouvert**

La tension à vide ou en circuit ouvert OCV (Open Circuit Voltage) d'une batterie correspond à son potentiel d'équilibre i.e. la différence de potentiel entre les deux électrodes quand la batterie est au repos. Cette tension d'équilibre dépend directement des activités des espèces actives qui varient avec l'état de charge et la température[17].

#### **f. État de charge**

L'état de charge SOC (State Of Charge) est une expression de la capacité disponible de la batterie à un instant donné exprimée en un pourcentage de sa capacité maximale. Cette quantité est généralement calculée en intégrant le courant et ainsi en suivant l'évolution de la quantité de charge tout au long de la sollicitation électrique de la batterie.

#### **g. État de santé**

L'état de santé SOH (State Of Health) est une grandeur qui quantifie les pertes de performances dues à la dégradation de la batterie. Il peut être défini comme le rapport



entre la capacité totale actuelle et la capacité maximale obtenue lorsque la batterie était neuve.

Cependant, de notre point de vue, une évaluation correcte de l'état de santé de la batterie doit aussi prendre en considération l'augmentation de sa résistance interne surtout dans le cas des régimes de décharge importants donc avec de forts échauffements[17].

### h. Raccordement des batteries

Pour augmenter la tension ou la capacité du banc de batterie, le câblage des batteries se fait en série ou en parallèle :

- ✓ En parallèle (en reliant les bornes "+" aux bornes "+" et les bornes "-" aux bornes "-") pour additionner les capacités de stockage (en Ah) tout en conservant la même tension (en Volts).
- ✓ En série pour additionner la tension des batteries (en Volts). La capacité en Ah reste celle d'une seule batterie.

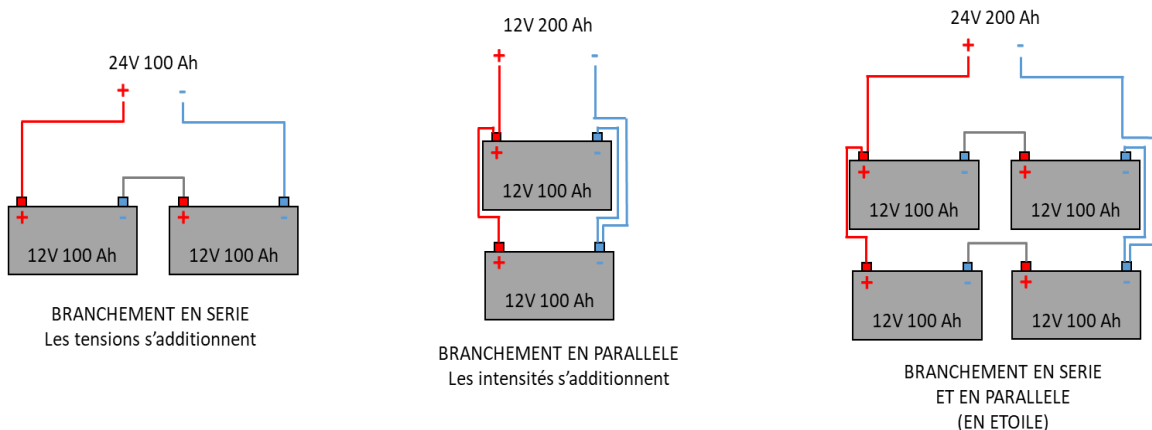


Figure 13 :Schéma de Raccordement des batteries

Il est risqué de brancher une batterie solaire directement sur un panneau solaire, car vous risquez d'endommager la batterie. En installant un régulateur entre le panneau et la batterie, celle-ci est protégée entre autre contre la surcharge.

#### 2.3.1.3 Le système de régulation

##### a. Le régulateur

Le régulateur de charge sert, avant tout, à contrôler l'état de la batterie. Il existe plusieurs valeurs limites correspondant chacune à un type de protection différent : surcharge, décharge profonde, température de fonctionnement, court-circuit, etc. Les nouvelles générations de

régulateurs, quant à eux, sont de plus en plus perfectionnées et proposent des fonctionnalités plus nombreuses et de plus en plus évoluées [18].

### **b. Les caractéristiques de régulateur**

Il existe de nombreux régulateurs de charge disponible sur le marché qui ont des caractéristiques différentes [19] :

#### **✓ L’affichage de l’état de charge de la batterie**

Certains régulateurs ne fournissent pas cette information ; d’autres la fournissent sous forme de LED, d’autres sur un écran digital.

#### **✓ La compensation thermique**

Elle permet d’affiner les seuils de travail du régulateur de charge et améliore la durée de vie de la batterie.

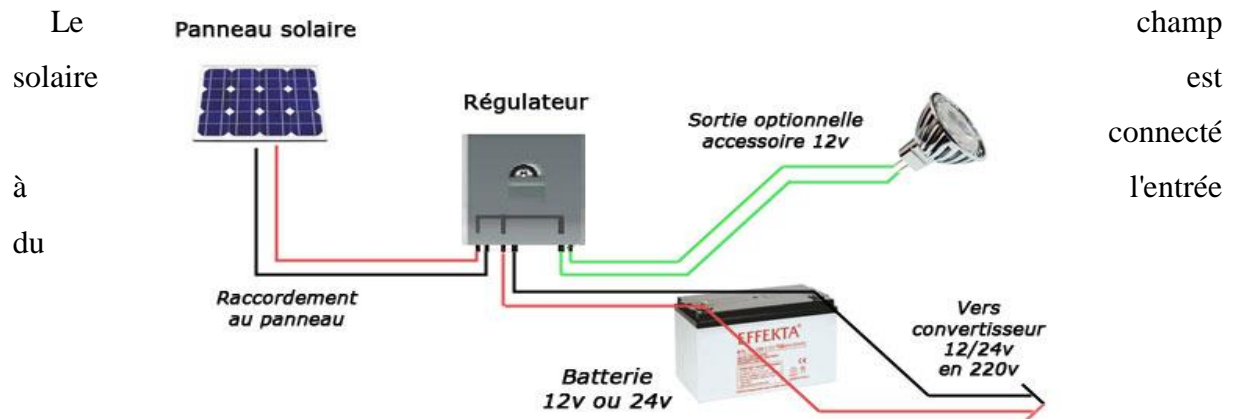
#### **✓ Les seuils de coupures ajustables :**

Sur certains régulateurs, les seuils de coupure sont réglables soit par des petits interrupteurs (d’IP-switch), soit par des potentiomètres, soit par un réglage avec l’afficheur LCD ou à l’aide d’une commande à distance.

#### **✓ Data logging :**

Certains régulateurs de charge enregistrent les données du système. Ces données sont ensuite lisible sur le régulateur ou sur ordinateur ; cela permet de visualiser une erreur ou alarme sur le système solaire.

### **c.Principe de fonctionnement du régulateur**



Le régulateur fait fonctionner le générateur photovoltaïque à puissance maximale  $P_{mpp}$  et transfère cette puissance à la sortie.

Figure 14 :Schéma de position de régulateur

#### d. Les types de régulateurs

##### ✓ Type de régulateur MPPT

Ce régulateur est actuellement la meilleure solution. Il contient un microprocesseur et un convertisseur statique qui permet de tirer toute l'énergie du module photovoltaïque malgré les variations de production de ces générateurs. L'idée est d'introduire un étage intermédiaire entre le module PV et la batterie qui sera constitué par le convertisseur DC-DC.

Le fonctionnement est le suivant : Les régulateurs MPPT traquent la tension  $V_{mp}$  des modules. Ils balaient une plage de tension en entrée pour déterminer constamment à quel point se trouve la puissance maximale délivrée par les modules. Le régulateur MPPT prélève la puissance à cette tension  $V_{mp}$  et la renvoie vers les batteries sous une tension plus basse, ce qui a pour effet d'augmenter le courant de charge. La puissance est égale au produit de la tension et du courant, ainsi, si la tension est réduite, le courant augmente nécessairement pour maintenir le ratio entrée/sortie égal. Pour un rendement de 100% : Puissance d'Entrée = Puissance de Sortie [18]. Une fois la tension de la batterie arrive à sa tension maximale, le système switcher vers une commande à tension constante, et à un courant de charge décroissant jusqu'à arriver à la pleine charge.



Figure 15 : Type de régulateur MPPT

### ✓ type de régulateur PWM

Certains régulateurs réalisent une commande PWM, le rapport cyclique variant selon l'énergie à fournir à la batterie afin de réaliser une charge à tension constante. Celui-ci est un peu plus subtil que le « tout ou rien » : Les régulateurs solaires traditionnels intégrant la technologie PWM relient les panneaux solaires au banc de batteries. Dans cette utilisation directe, la tension de sortie des panneaux est réduite à la tension nominale des batteries.



Figure 16 :Type de régulateur PWM

#### 2.3.1.4 Le système de conversion

##### a. Onduleurs

L'onduleur, est un dispositif permettant de transformer en alternatif une énergie électrique de type continue. La fonction principale de ce dispositif est de créer au niveau de sa sortie une tension alternative réglable en fréquence et en valeur efficace à partir d'une tension continue en entrée.

Un onduleur est dit autonome s'il assure de lui-même sa fréquence et sa forme d'onde.

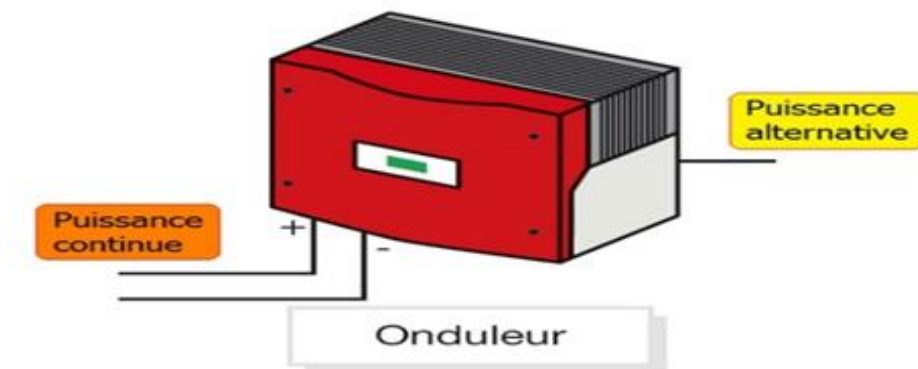


Figure 17 :Schéma (symbole) d'onduleur

Les onduleurs intègrent plusieurs sécurités de base:

- ✓ Protection contre la surcharge
- ✓ Protection contre le court-circuit
- ✓ Protection en température
- ✓ Protection contre une tension trop élevée ou trop faible (paramétrable le plus souvent)

## b. Principe de fonctionnement

La création d'une sinusoïde à partir d'une tension continue s'obtient grâce à des impulsions de tension de largeur bien déterminée, cette PWM (Pulse width Modulation). En pratique, l'onduleur est composé d'un ensemble de composants actifs (interrupteurs électroniques). L'onduleur doit tolérer une large plage de tension en entrée (-10% à +30%) à cause des variations de tension nominale de la batterie selon les différentes conditions de fonctionnement.

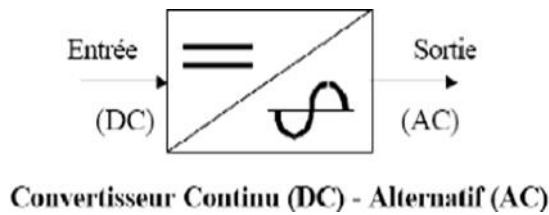


Figure 18 : Schéma d'onduleur

## c. Technologies de couplage des onduleurs

### ✓ Onduleurs modulaires

Suivant ce concept, chaque module solaire dispose d'un onduleur individuel (par ex. Soladin 120 de Master volt). Pour les installations plus importantes, tous les onduleurs sont connectés en parallèle côté courant alternatif. Les onduleurs modulaires sont montés à proximité immédiate du module solaire correspondant [17].

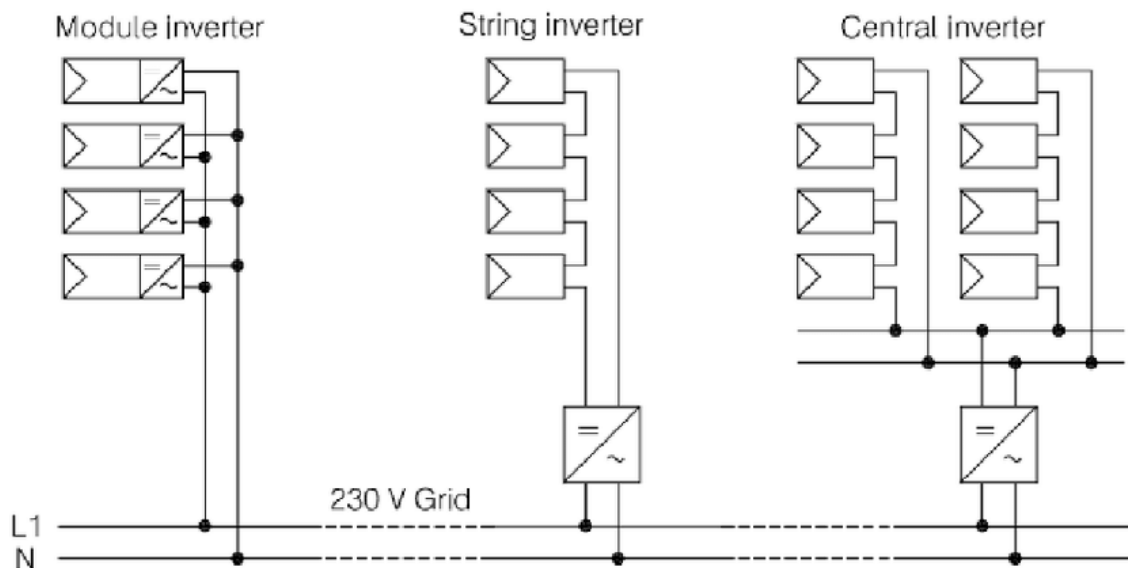


Figure 19 : les différentes technologies d'onduleurs

### ✓ Onduleurs centralisés

Un onduleur centralisé de forte puissance transforme l'ensemble du courant continu produit par un champ de cellules solaires en courant alternatif. Le champ de cellules solaires est en règle générale constitué de plusieurs rangées connectées en parallèle. Chaque rangée est elle-même constituée de plusieurs modules solaires connectés en série. Pour éviter les pertes dans les câbles et obtenir un rendement élevé, on connecte le plus possible de modules en série [17].

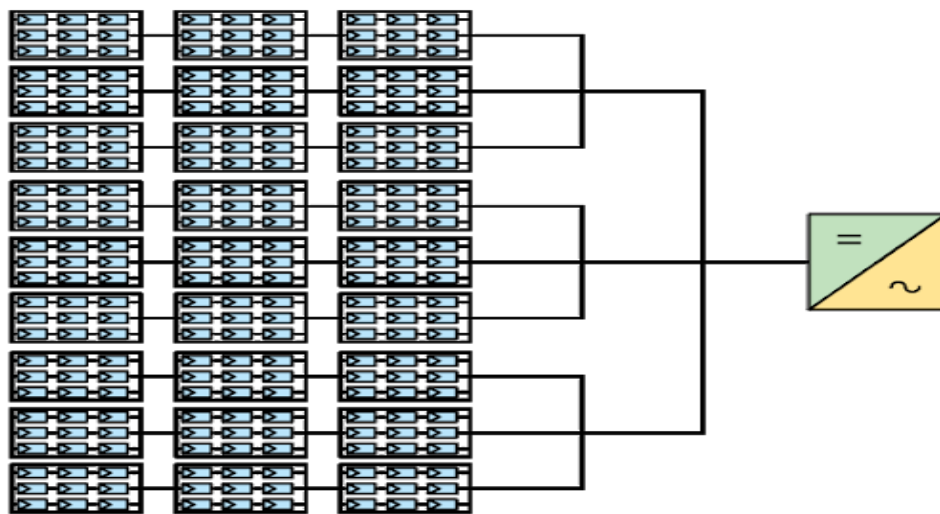


Figure 20 : Onduleurs centralisés

### ✓ Onduleurs "String" - ou "de Rangée"

L'onduleur String est le plus utilisé. Le plus souvent, huit (ou plus) de modules solaires sont connectés en série. Comme une seule connexion série est nécessaire, les coûts d'installation sont réduits. Il est important de noter qu'en cas d'ombrage partiel des modules solaires, il n'y a pas de perte, l'emploi de diodes de by-pass est fortement recommandé [17].

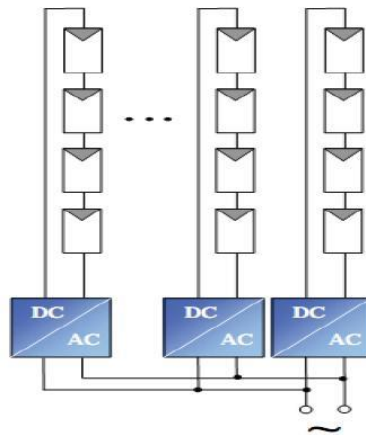


Figure 21 : Onduleurs "String" - ou "de Rangée"

### 2.3.2 Système PV raccordée au réseau

Une installation PV peut être connectée en parallèle avec le réseau d'électricité. Les panneaux solaires sont connectés en série pour former des « strings », eux même reliés à un onduleur. La tâche de l'onduleur est de transformer le courant continu sortant des panneaux en courant alternatif. Chaque onduleur est choisi en fonction de la puissance des panneaux et peut accueillir un ou plusieurs strings [19].

Si la consommation locale est supérieure à la production de l'installation PV, l'appoint est fourni par le réseau. Dans le cas contraire, l'énergie est fournie au réseau public et sert à alimenter les consommateurs.

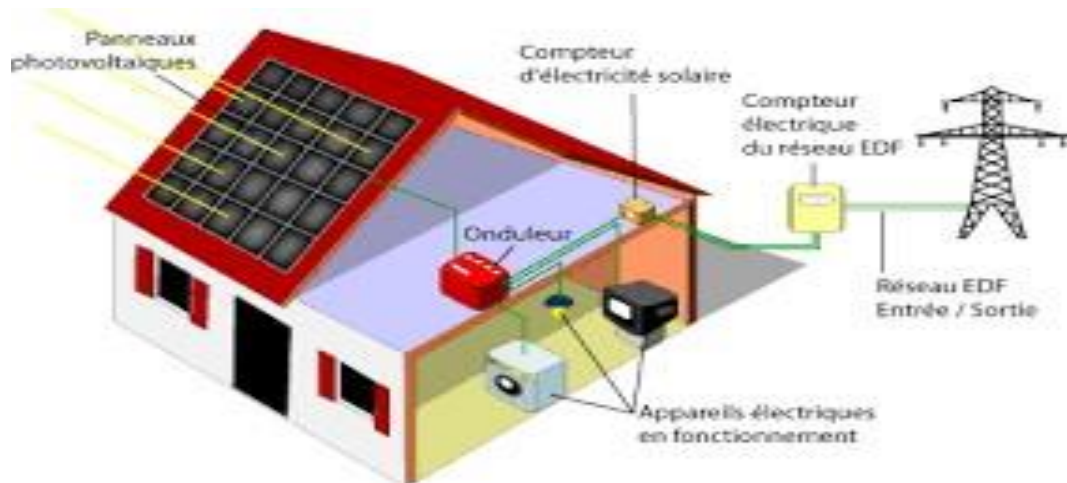




Figure 22 : Système PV raccordée au réseau

### 2.3.3 Système photovoltaïque au fil de soleil (Pompage PV)

Le système de pompage solaire est constitué généralement par [17] :

- ✓ le générateur photovoltaïque
- ✓ le groupe moteur-pompe
- ✓ l'électronique de commande et de contrôle, la partie stockage

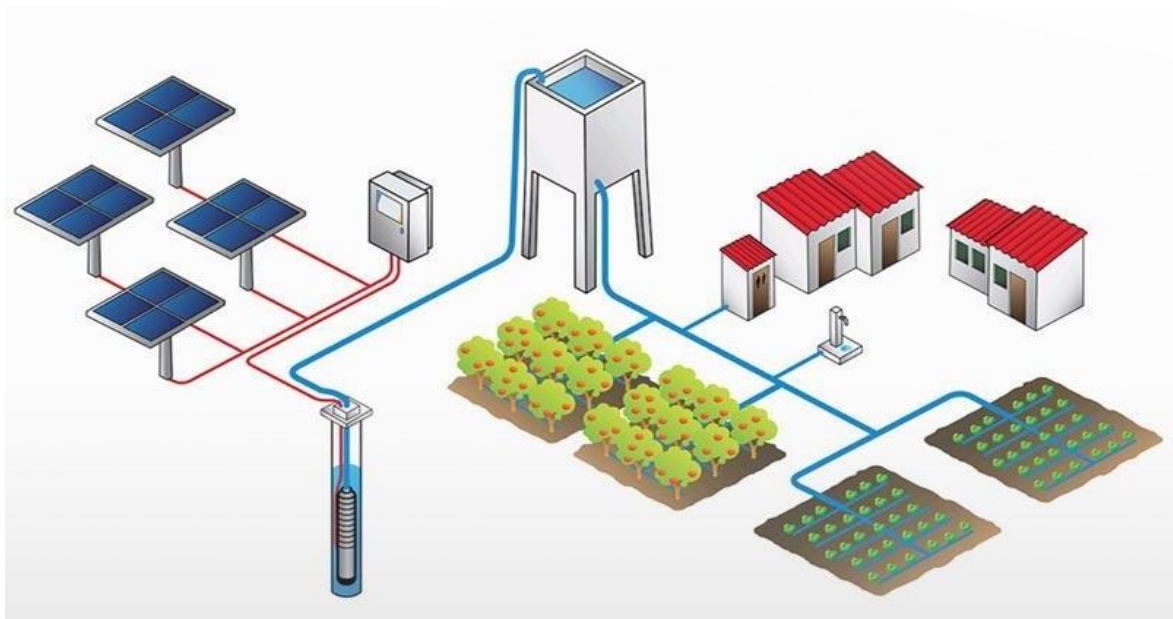


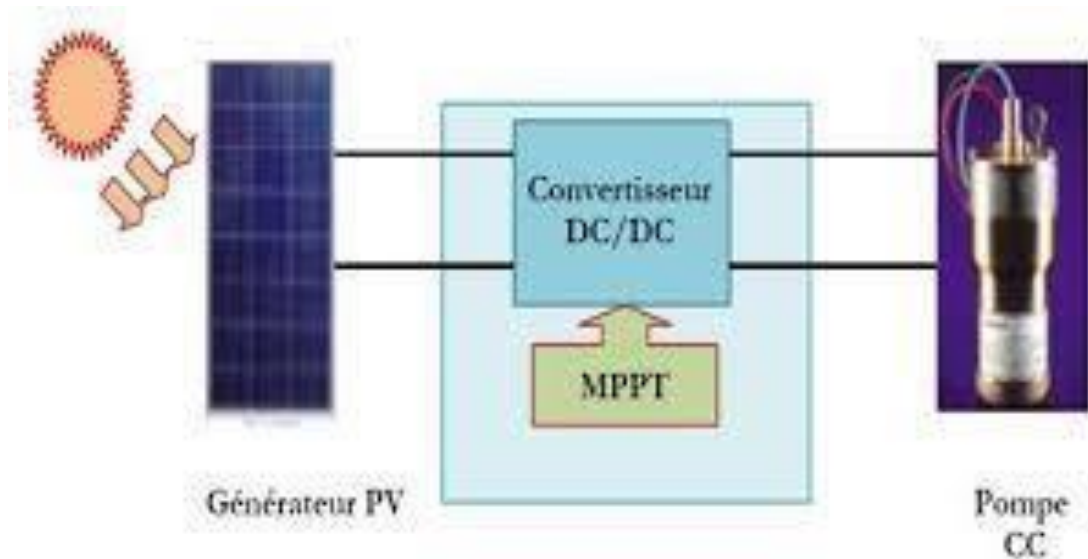
Figure 23 : stockage d'eau par générateur photovoltaïque avec pompe

Le stockage d'énergie peut se faire de deux façons : stockage d'énergie électrique ou stockage d'eau. Cette dernière méthode est souvent adoptée car il est plus pratique de stocker l'eau dans des réservoirs que l'énergie électrique dans des accumulateurs lourds coûteux et fragiles, de plus le rendement énergétique est meilleure quand il n'y a pas d'accumulateurs.

L'énergie fournie par le générateur photovoltaïque est une énergie chère malgré l'abaissement du coût du watt-crête. Il est donc nécessaire de faire fonctionner ces générateurs à leur puissance optimale. L'approche du problème consiste à intercaler entre le générateur et le récepteur un convertisseur statique (hacheur ou onduleur) pour effectuer le transfert optimal de puissance. La commande du convertisseur se fait par

variation d'un paramètre de contrôle ; rapport cyclique pour le hacheur et fréquence pour l'onduleur [17].

Deux systèmes sont utilisés, la première c'est le système de pompage utilisant le moteur à courant continu. Le couplage est direct (sans stockage électrique) avec optimisation du générateur par un hacheur adaptateur de puissance commandé par son rapport cyclique (figure 23).



**Figure 24 :** Les composants du pompage DC/DC

La deuxième, c'est le système de pompage utilisant le moteur asynchrone (à courant alternatif triphasé). Le moteur est alimenté par un onduleur (convertisseur DC/AC) qui assure l'optimisation du générateur.

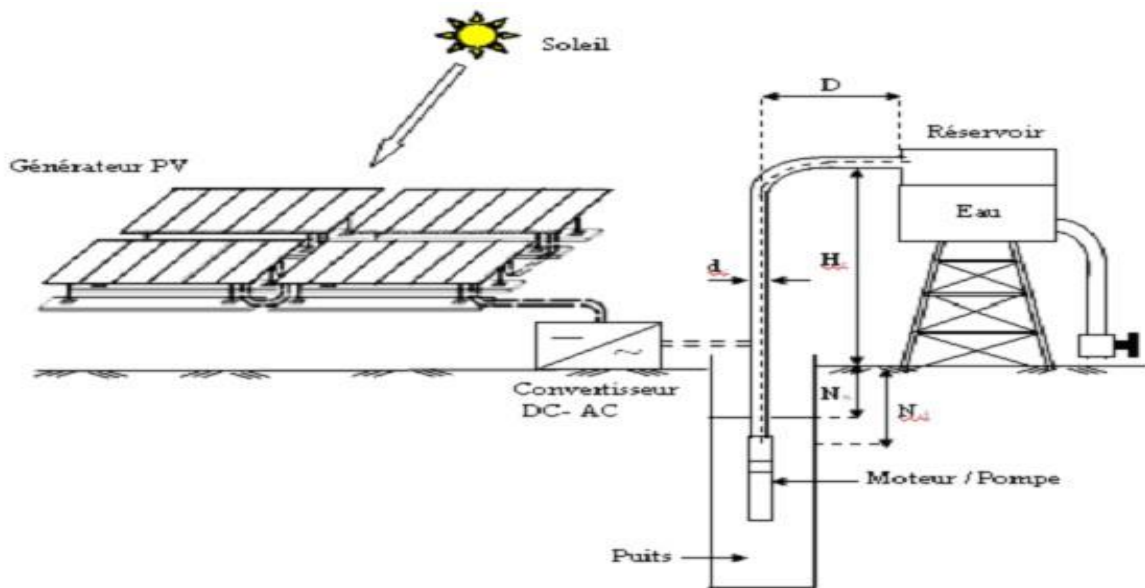


Figure 25 : Les composants du pompage DC/AC

## 2.4 Modes d'intégration des systèmes PV dans le bâtiment

Les capteurs solaires deviennent un élément de composition architectural sur un immeuble, et à ce titre, le positionnement des capteurs et leur intégration (sur une toiture terrasse, intégré dans une toiture en pente, intégré en façade ...etc.) au bâtiment ou au site doivent être étudiés précisément de manière à garantir un rendement satisfaisant tout en respectant les aspects fonctionnel et esthétique de l'équipement.

### 2.4.1 La démarche d'intégration

#### 2.4.1.1 La technologie BIPV (building integrated photovoltaics)

C'est une technologie multifonctionnelle qui peut être adaptée de façon optimale sur les nouvelles constructions ainsi que les bâtiments existants.

Au cours de ces dernières années, et grâce à cette technologie (BiPV), l'intégration des modules PV dans l'architecture évolue fortement. Les nouveaux produits, par dimensions et caractéristiques, sont en gré de remplacer intégralement certains éléments constructifs traditionnels. Par élément de construction, nous entendons un composant utilisé dans le bâtiment comme partie de l'enveloppe de l'édifice (élément de couverture du toit, revêtement de façade, surface vitrée), dispositif de protection solaire (écrans solaires), élément architectonique «accessoire» (parapet de balcon.) et tout autre élément architectonique nécessaire au bon fonctionnement de l'édifice (protection visuelle et acoustique). Cette

définition exclut par conséquent les installations «indépendantes» de l'édifice, tel que les panneaux solaires montés sur des supports appuyés ou fixés sur les toits ou autres parties d'un édifice qui n'assume aucune autre fonction en dehors celle de la production d'électricité (solutions adoptée par la majorité des surfaces photovoltaïques installées actuellement).

En plus de trouver une application dans la construction dans son sens stricte, les installations sont également considérées comme étant «intégrées» lorsqu'elles sont appliquées à des structures «urbaines» et de transport (marquises indépendantes, abris pour voitures, structures sportives et de jeux, arrêts de bus, etc.).

#### **2.4.1.2 Le concept d'intégration**

Dans la large échelle de l'application de PV, le concept d' "application " au lieu de " l'intégration " a été prédominant jusqu'à maintenant. Dans de nombreux cas, en effet, « panneaux solaires » sont simplement superposées sur l'enveloppe du bâtiment comme un élément étranger, sans satisfaire aucune exigence ou fonction du bâtiment. Également, même dans la plupart des cas représentant une intégration fonctionnelle correcte, la qualité architecturale n'est pas toujours considérée comme une condition importante.

Au contraire le concept BIPV, comme typique dans la construction et l'architecture, comporte deux aspects complémentaires. Le premier est la multi- fonctionnalité de la composante solaire qui est l'intégration fonctionnelle / constructive. D'un autre côté, il est l'intégration esthétique qui est la qualité de l'architecture de l'intégration.

##### **a.L'intégration fonctionnelle**

L'intégration fonctionnelle se réfère au rôle que les modules photovoltaïques assument à l'intérieur du système édifice. Pour cette raison, on peut parler de multifonctionnalité ou de critère de double fonction. Les modules photovoltaïques sont considérés intégrés à l'édifice lorsqu'ils assument le rôle d'un élément de construction, remplissant une fonction telle que définie.

Le module PV devient une partie essentielle de la fonctionnalité de l'édifice. En effet, si le module PV devait être enlevé (dans le cas de modules connectés structurellement, le démontage inclurait des composants du bâtiment adjacents), il devrait être substitué par un composant de construction équivalent et adéquat.

Les fonctions de construction demandées pour un BiPV peuvent être les suivantes :

- protection contre les agents atmosphériques : pluie, neige, vent, grêle, protection contre les rayons UV.
- rigidité, résistance mécanique et intégrité structurelle.
- ombrage/éclairage diurne.

### **b. L'intégration esthétique**

(Architecturale, figurative), par ailleurs, se réfère au concept architectural et à l'image d'un édifice qui est plus difficilement définissable.

La définition ne peut pas déterminer avec certitude et objectivité l'esthétisme d'intégration, mais peut aider les concepteurs et les propriétaires à définir des références, comme par exemple pour l'élaboration du projet. Toutes les caractéristiques du système photovoltaïque capables de conditionner l'apparence d'un édifice devraient être cohérentes avec sa conception d'ensemble.

La position et la dimension des modules doivent être cohérentes avec la composition architecturale d'ensemble de l'édifice ;

- les matériaux visibles du module PV, la texture de la surface et la couleur devraient être cohérents avec les autres matériaux de l'enveloppe du bâtiment, les couleurs et les textures avec lesquels ils interagissent ;
- la dimension et la forme des modules doivent être compatibles avec la grille de composition et les différentes dimensions des éléments de l'enveloppe.

### **c. Respect des règles fondamentales du PV**

L'installation PV doit naturellement satisfaire aux critères d'efficacité de la production énergétique, particulièrement en ce qui concerne le positionnement, l'orientation des modules et l'absence d'ombre

Pour pouvoir exploiter au mieux l'énergie accumulée par les modules photovoltaïques, il est nécessaire de suivre quelques règles simples comme l'orientation, l'ombrage et la ventilation.

### ✓ **Inclinaison des modules**

Les modules doivent être montés en principe avec une inclinaison optimale située entre  $10^\circ$  et  $60^\circ$  (sans que cela ne produise une perte par année supérieure à 10%). L'inclinaison optimale dépend principalement de la latitude du lieu, mais aussi du contexte dans lequel le module est inséré. (Voir figure 25).

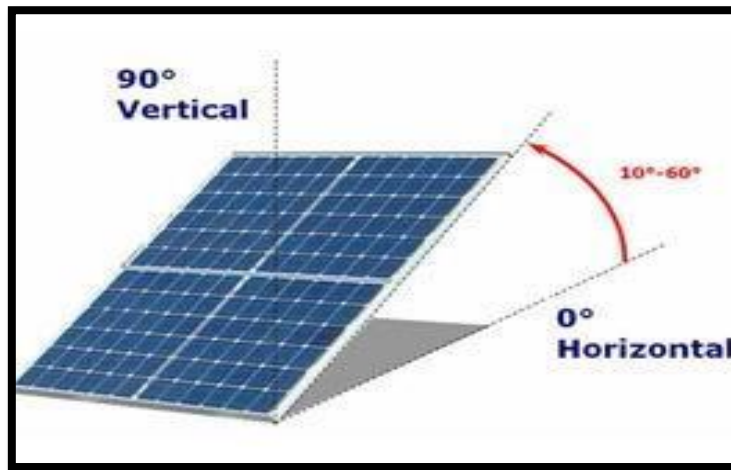


Figure 26 : l'inclinaison des panneaux solaire

### ✓ **L'orientation des modules**

L'orientation de l'installation doit être le plus au sud possible. Une orientation entre  $60^\circ$  Ouest et  $60^\circ$  Est garanti un résultat intéressant avec des pertes qui ne dépassent pas 10% (en fonction de l'inclinaison). Voir figure 26).

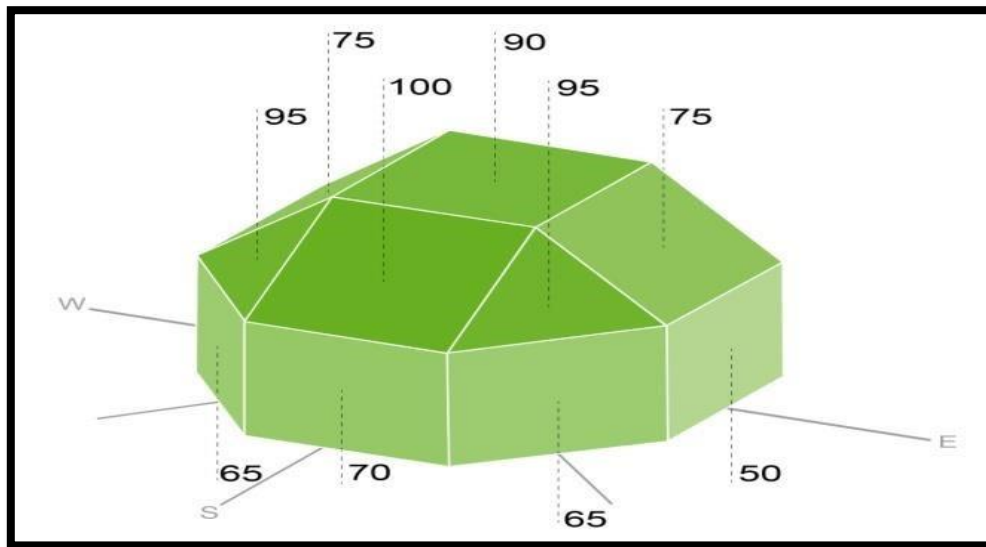


Figure 27 : Le rendement par rapport à l'orientation de l'installation des modules.

### ✓ Ombrage

Pour une utilisation optimale de l'énergie photovoltaïque, il faut éviter l'ombrage (partiel ou total) des modules. Un ombrage partiel sur le module est suffisant pour réduire considérablement son efficacité. Au moment de la conception d'une installation, on doit donc envisager la possibilité que d'autres bâtiments, des arbres ou les panneaux eux-mêmes. (Voir figure 27).

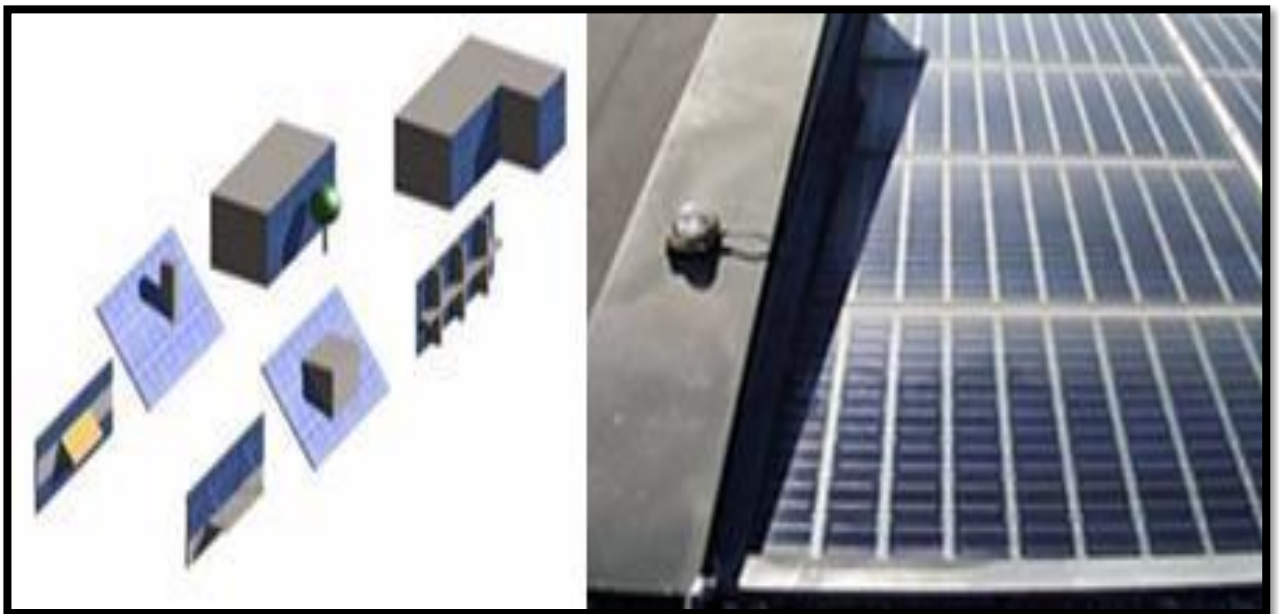


Figure 28 : Exemples d'ombres

✓ **Ventilation**

Une bonne ventilation du module permet d'abaisser sa température. Lorsque la température du module augmente, et par conséquent celle des cellules, cela provoque une réduction de la tension et de la puissance délivrée par l'installation.

Le pourcentage de la perte de puissance peut atteindre jusqu'au 10% lorsque le module n'est pas ventilé. Pour limiter une perte de puissance, une distance de 15cm entre le module et la façade est conseillée (les données sont basées sur une température ambiante maximale de 40°C). (Voir figure 29).



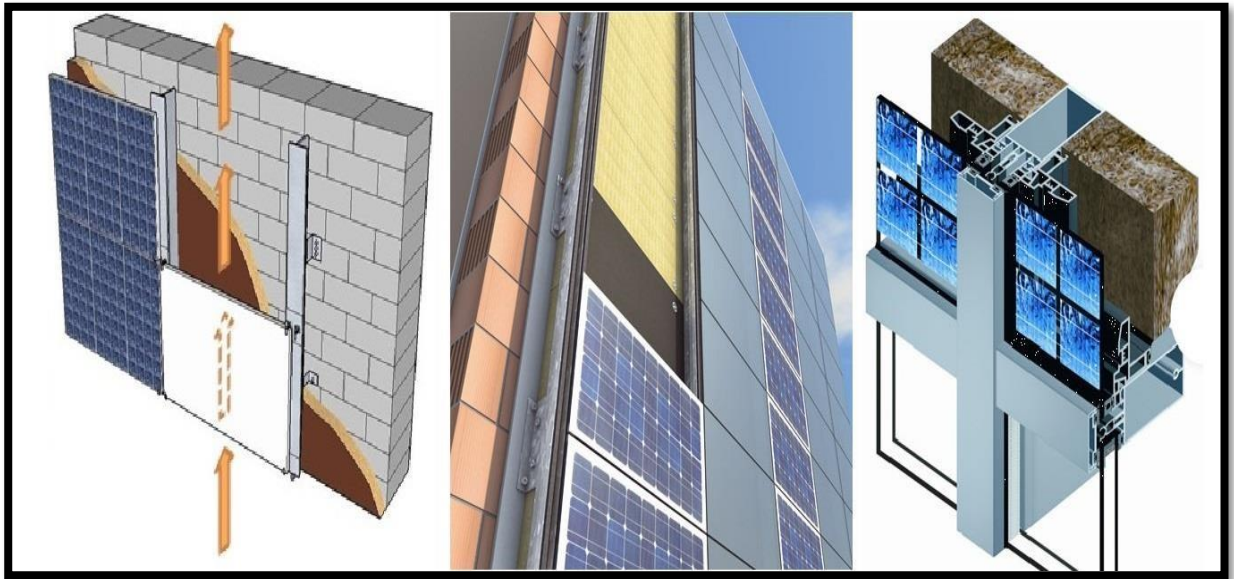


Figure 29 :Exemple de façade ventilée

✓ **Limitation du dépôt de saleté**

Les possibles réductions de rendement des modules dues à l'accumulation de saleté ou en raison de dépôts d'agents atmosphériques et/ou de substances transportées par le vent, doivent être éliminées par des procédés adéquats (le nettoyage peut être la solution).

✓ **Le choix du matériau photo actif**

Le choix du matériau photo actif peut également être opéré en tenant compte des caractéristiques climatiques du site, de la composition spectrale de la lumière et de la relative capacité de transformation de la cellule.

## 2.5 Information supplémentaire sur les modules photovoltaïques

L'industrie propose des versions extrêmement variées de verre photovoltaïque performant:

- Modules individualisés avec film EVA ou PVG sur verre de sécurité feuilleté.
- Grands panneaux jusqu'à 2,44 x 5,10 mètres de formes et de types différents.

- Verre isolant en différents formats et différentes épaisseurs.
- Vitrages translucides et verre fin bombé.
- Cellules perforées et colorées.
- LED intégrées.
- Options de décor par sérigraphie, films intermédiaires de couleur et sélection individuelle des types de cellules et de la distance entre elles
- Différents systèmes de fixation ou points de montage invisibles
- Installation photovoltaïque directement couplée à un capteur thermique



**Figure 30 :**Exemples Les modules photovoltaïques

Il existe plusieurs modules PV pour différents éléments architecturaux comme il est démontré dans les figures suivantes :



**Figure 31 :**Le PV pour les tuiles



**Figure 32 :**Le PV pour les toitures vitrage



**Figure 33 :**Le PV pour les façades (élément)



**Figure 34 :**Le PV pour les façades vitrées



## **2.6 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté le principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque, ainsi que les différentes configurations des systèmes photovoltaïques. Et enfin on a présenté la démarche d'intégration de système solaire pour une intégration fonctionnelle et esthétique.

Grâce à l'utilisation maximale de ces technologies, les bâtiments ne sont plus de simples consommateurs de l'énergie, mais deviennent des producteurs importants. Des solutions d'intégration d'une grande qualité architecturale apportent une contribution décisive à l'augmentation de l'efficacité énergétique des immeubles. Parallèlement, la durabilité des investissements immobiliers progresse elle aussi.

### **3 Chapitre 3 : Etude de la possibilité d'exploitation du toit de pavillon 23 pour la production d'électricité photovoltaïque**

#### **3.1 Introduction**

Toute personne disposant d'un habitat résidentiel, d'un bâtiment communal ou d'un autre lieu d'implantation susceptible de recevoir un champ de modules photovoltaïques, peut devenir un producteur d'énergie renouvelable en injectant toute ou partie de l'électricité localement produite dans le réseau de distribution public. Il est possible de vendre la totalité de l'électricité produite ou seulement le surplus non consommé à l'entreprise locale de distribution[20].

Dans notre cas les toits des bâtiments de l'université de Blida 1 permet d'installer une capacité importante des modules photovoltaïques pour produire une énergie électrique, et injecter la totalité d'électricité dans le réseau basse tension de sonalgaz.

#### **3.2 Objectifs et justification de la démarche**

Ce projet vise à convertir les bâtiments universitaires de consommateurs d'électricité en bâtiments d'exportation d'électricité en installant des champs photovoltaïques sur les toits des pavillons, ces champs produiront de l'énergie électrique à injecter dans le réseau basse tension local. Parmi les raisons qui peuvent justifier notre démarche, on peut citer :

##### **3.2.1 Réduction des émissions des gaz à effet de serre**

Selon IEA les émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'énergie provenant des bâtiments ont augmenté ces dernières années. Les émissions directes et indirectes de l'électricité et du chauffage commercial utilisés dans les bâtiments ont atteint 10 GtCO<sub>2</sub> en 2019, ce que représente près de 40 % du total des émissions directes et indirectes de CO<sub>2</sub>[21]. Donc l'utilisation des systèmes photovoltaïques connectés au réseau dans le secteur des bâtiments (chauffage, climatisation, éclairage), Ce sera un facteur important pour la réduction des émissions des gaz à effet de serre.

### 3.2.2 Prix d'électricité en l'Algérie

Le ministère de l'énergie a indiqué que la première tranche concerne la consommation inférieure à 500 kW au prix de 1.77 DA/kWh, la deuxième entre 501 et 1.000 kW au prix de 4,17 DA/kWh, la troisième entre 1001 et 4000kW au prix de 4,18 DA/kWh et la dernière tranche concerne la consommation supérieure à 4.000 kW au prix de 5,47 DA/kW[22]et pour l'électricité photovoltaïque injecté dans le réseau estimé à 18 DA/kWh, donc il y a 13 DA/kWh de différence entre le prix d'achat et le prix de vent , Ce qui permet d'obtenir un retour financier important pour l'université.

## 3.3 Estimation de la surface des toits disponibles

A l'aide de l'application Google Maps, nous pouvons estimer la surface des toits des bâtiments universitaires et d'estimer la surface exploitable pour installé les champs photovoltaïque.

### 3.3.1 Surface totale

La méthode de calcul la surface : D'après l'image satellite de pavillon 23 on à 2.2 cm en l'image égale a 10 m en réalité

**Tableau 4** :la surface totale du toiture de pavillon 23

Toiture de pavillon 23	Surface (m <sup>2</sup> )
Zone A	177.35
Zone B	117.80
Zone C	171.68
Zone D	71.17
Surface totale	538

### 3.3.2 Surface exploitable

Après avoir pris en compte la distance à laisser pour les opérations de maintenance et de nettoyage et la distance entre le champ photovoltaïque et l'autre pour éviter le phénomène d'ombrage, on a la surface exploitable suivant :

$$\text{Surface exploitable} = 400 \text{ m}^2$$



**Figure 35 :** Vue par satellite de pavillon 23

## 3.4 Estimation de la puissance crête pouvant être installée

### 3.4.1 Choix du type des modules

Dans notre cas nous prenons le module poly-Si - YGE 72-Multi-Busbar-YL340P12B-35b a les caractéristiques suivantes :

**Tableau 5 :** fiche thecnique de panneau YL340P12B-35b[23]

Puissance maximum (Pmpp)	<b>340 w<sub>p</sub></b>
Voltage MPP (Vmpp)	<b>38.1V</b>



### *CHAPITRE 3: Etude de la possibilité d'exploitation du toit de pavillon 23 pour la production d'électricité photovoltaïque.*

---

Courant ( $I_{mpp}$ )	<b>8.93 A</b>
Voltage sans charge ( $V_{oc}$ )	<b>45.9 V</b>
Courant coupe-circuit ( $I_{sc}$ )	<b>9.41 A</b>
Coefficient de température ( $P_{mpp}$ )	<b>-0,39% / °C</b>
Coefficient de température ( $V_{oc}$ )	<b>-0,3% / °C</b>
Coefficient de température ( $I_{sc}$ )	<b>+0,05% / °C</b>
Température de fonctionnement	<b>-40°C / +85°C</b>
Voltage maximum du système	<b>1500V</b>
Nombre de cellules	<b>72 cellules polycristallin</b>
Dimensions des cellules	<b>156 x 156 mm</b>
Dimensions du module (L x l x H)	<b>1960 x 992 x35 mm</b>
Poids	<b>22 kg</b>



**Figure 36** :module pv poly-cristallin

Les avantages de ce type des modules :

- Une large gamme d'applications

- Une durée de vie accrue : Vitrage de protection sur la face avant, Face arrière résistante à l'eau et aux conditions climatiques.
- Un encadrement résistant : encadrement entièrement en d'aluminium, Cadre vissé de chaque cotés.
- Une installation simple : Prise facilement connectable
- Garanties & Certificats
  - » 12 ans de garantie pour un rendement de 90%
  - » 25 ans de garantie pour un rendement de 80%
  - » 10 ans de garantie matérielle

### **3.4.2 Choix du mode d'installation**

Dans notre cas d'étude, le module photovoltaïque installé sur la toiture de bâtiment en suivant les procédure et les conditions suivants :

- ☐ Orientation des panneaux : Comme nous sommes en Algérie qui se situe dans l'hémisphère nord et donc l'orientation des panneaux photovoltaïques est en plein sud.
- ☐ L'inclinaison des panneaux : blida situé a latitude de lieu 36,470° donc :

La déclinaison solaire

$$\delta = 23.45 \times \sin \sin \left( 2 \times \pi \times \frac{d + 284}{365} \right) \quad (3.1)$$

d : nombre de jour (décembre le mois plus défavorable a blida)

$$\delta = 23.45 \times \sin \sin \left( 2 \times \pi \times \frac{356 + 284}{365} \right) = 4.48^\circ$$

$$l'angle\ d'inclinaison = latitude - \delta$$

$$l'angle\ d'inclinaison = 36,470^\circ - 4,48^\circ = 31.988 = 32^\circ$$

- ☐ La structure :La structure est en aluminium ou en alliage d'aluminium, Les boulons et écrous sont en acier inoxydable et qui résiste à toutes les conditions

météorologiques, la base est en béton. Assuré la qualité des supports de montage des modules PV.



**Figure 37 :** La structure est en aluminium ou en alliage d'aluminium

- La distance entre les champs pv : laisser une distance de 1 m entre un champ photovoltaïque et l'autre pour les opérations de maintenance et nettoyage et pour éviter le phénomène d'ombrage.

### 3.4.3 Nombre des modules et la Puissance crête totale

#### 3.4.3.1 Nombre des modules

Le nombre de panneaux photovoltaïques est calculé par le rapport de la surface totale exploitable et la surface d'un seul module

$$N_m = \frac{S_{te}}{S_m} \quad (3.2)$$

$N_m$  : nombre des modules

$S_{te}$  : surface total exploitable

$S_m$  : surface d'un module

Après l'application numérique on obtient 205 modules

### 3.4.3.2. la puissance crête totale

Donc la puissance crête totale :

$$P_{ct} = N_m \times P_c \quad (3.3)$$

$N_m$  : nombre des modules

$P_c$  : puissance crête d'un module

$$P_t = 69.7 \text{ KW}_c$$

## 3.5 Dimensionnement du système PV

Pour le dimensionnement de notre installation photovoltaïque raccordée au réseau, nous avons utilisés le logiciel Pv syst 7.2 qui est un logiciel spécifique pour les installations photovoltaïques qui prend en considération divers paramètres météo logiques et climatiques, et il dispose d'une large gamme de constructeurs pour les modules photovoltaïques et les onduleurs .

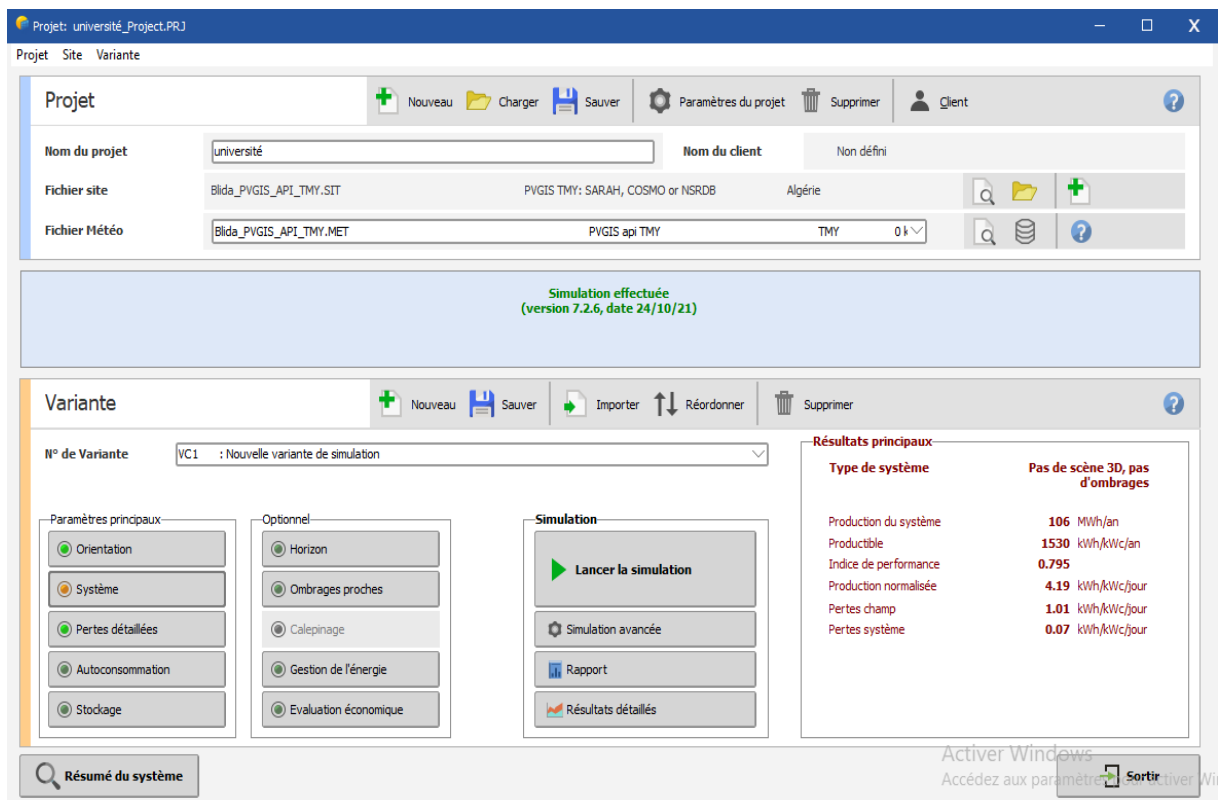


Figure 38 :Interface de logiciel pvsyst 7.2

### 3.5.1 détermination du champ pv

Définition d'un système réseau, Variante VC1: "Nouvelle variante de simulation"

**Sous-champ**

**Nom et orientation du sous-champ**

Nom: Champ PV

Orient.: Plan incliné fixe

Inclinaison: 32°

Azimet: 0°

**Aide au dimensionnement**

☐ Pas de prédim. Entrez Pnom désirée: 70.0 kWc

☒ Redimens. ... ou surface disponible(modules): 400 m²

**Sélection du module PV**

Disponibles: Filtre: Tous les modules PV

Modules nécessaires approx. 206

Yingli Solar	340 Wp 32V	Si-poly	YL340P-35b	Depuis 2015	Manufacturer 2021
<input type="checkbox"/> Utiliser optimiseur					

Dimens. des tensions : Vmpp (60°C) 32.9 V

Vco (-10°C) 51.4 V

Figure 39 :Le champ pv étudié

### 3.5.2 Choix de l'onduleur

Le choix et le nombre d'onduleurs repose sur 3 critères :

- La compatibilité en puissance
- La compatibilité en tension
- La compatibilité en courant

**Sélection de l'onduleur**

Disponibles: Tension de sortie 380 V Tri 50Hz

Willings: 75 kW 450 - 800 V TL 50/60Hz M10-75 Depuis 2013

☒ 50 Hz

☒ 60 Hz

Nbre d'onduleurs: 1

Tension de fonctionnement: 450-800 V Puissance globale ond. 75.0 kWac

Tension entrée maximale: 1000 V

Figure 40 :La sélection de l'onduleur

### 3.5.3 Assemblage des panneaux

#### a. Nombre de modules en série

Le nombre de modules en série dépend de la tension de fonctionnement de l'onduleur.

$$N_{smax} = \frac{V_{mpp\ max}}{V_{mpp} \times 1.15} \quad (3.4)$$

$$N_{smin} = \frac{V_{mpp\ min}}{V_{mppt} \times 0.85} \quad (3.5)$$

**b. Nombre de modules en parallèle**

$$N_p = \frac{I_{ond}}{I_{cc} \times 1.25} \quad (3.6)$$

**Dimensionnement du champ**


**Nombre de modules et chaînes**

Mod. en série: 17 ☐ entre 14 et 19

Nb. chaînes: 12 ☒ seule possibilité 13

Perte surpuissance: 0.0 %

Rapport Pnom: 0.92

 Voir conditions

**Nbre modules: 204      Surface: 397 m²**

**Figure 41 :**Assemblage des panneau

### 3.5.4 Choix des câbles

Dans le calcul des sections des câbles dans les systèmes PV il faut que les distances entre les différents éléments soient petites afin d'éviter les pertes par effet joule dans les conducteurs à cause des fort courant transporter.

#### 3.5.4.1 Calcul de la section des câbles entre champ PV et boite de jonction

La longueur (L) dans les calculs correspondons à les deux câbles rouge et noir (le plus et le moins) exemple L= 10m c'est à dire que 10m câble rouge et 10m câble noir, la relation pour calculer la section et donner par :

$$S = \frac{2 \times l_1 \times I_1 \times \rho}{\varepsilon \times V} (mm^2) \quad (3.7)$$

$\rho$ : représente la résistivité de conducteur

$$\rho = 1.851 \times 10^{-8} \Omega m$$

$\varepsilon$ : représente la chute de tension

$$\varepsilon = 2\%$$

$V$ : représente la tension de 17 panneaux placés en série

$$V = U_{mpp} \times 17$$

$I_1$ : représente le courant de 17 panneaux placés en série

$$I_1 = I_{mpp}$$

$$l_1 = 10 \text{ m}$$

Après l'application numérique, nous obtenons:

$$S = 2.55 \text{ mm}^2$$

Nous proposons un câble solaire d'une section de 3mm<sup>2</sup> selon le guide de l'UTE C15-712-1]24].

### **3.5.4.2 Calcul de la section des câbles entre la boîte de jonction et l'onduleur**

$$S = \frac{2 \times l_2 \times I_2 \times \rho}{\varepsilon \times V} (mm^2) \quad (3.8)$$

$$l_2 = 20m$$

$I_2$  = représente le courant de 12panneaux placés en parallèle

$$I_2 = I_{mpp} \times 12$$

Après l'application numérique, nous obtenons:

$$S = 6.12 \text{ mm}^2$$

Nous proposons un câble solaire d'une section de 7 mm<sup>2</sup> selon le guide de l'UTE C15-712-1.

### **3.5.5 Les éléments de protection électrique**

#### **a. Fusible pour les branches**

La tension de fonctionnement d'un fusible est  $1,15 \times V_{co} \times \text{modules raccordés en série}$

$$1,15 \times 45.9 \times 17 = 897.34 \text{ v}$$

Le calibre des fusibles :  $1,5 \times I_{cc} \leq \text{calibre fusible} \leq 2 \times I_{cc}$  (3.9)

$$1,5 \times 9.41 \leq \text{calibre fusible} \leq 2 \times 9.41$$

$$14.11 \text{ A} \leq \text{calibre fusible} \leq 18.82 \text{ A}$$

Nous choisirons un fusible de type FUSE 10,3X38 25A PV 900V

#### **b. Sectionneur**

$$\text{Tension assignée du fusible} \geq 1,15 \times V_{co} \times N_{ms} \quad (3.10)$$

$$\text{Tension assignée du fusible} \geq 1,15 \times 45.1 \times 17 = 897.34 \text{ v}$$

$$\text{Intensité nominale} \geq 1,5 \times I_{cc} \times N_p \quad (3.11)$$

$$\text{Intensité nominale} \geq 1,5 \times 9.41 \times 12 = 169.38 \text{ A}$$

Nous choisirons un sectionneur de type INTERRUPTEUR SECTIONNEUR COURANT CONTINU DC CBI 180 A



**c. Parafoudre DC**

Le parafoudre DC choisi est de type SPD-DCMZ-TYPV3de :

Courant maximal 40kA

Tension maximale 1000Vdc

**d. Parafoudre AC**

Le parafoudre AC choisi est de type SPD-ACMZ-TY4Vde :

Courant maximal : 40kA

**e. Compteur de production**

Nous choisirons un compteur de production du 380v triphasé

### **3.5.6 Résultats de simulation**

Le tableau présente le bilan énergétique mis en jeu par le système étudié :

GlobHor : irradiation global horizontal

Earray : énergie efficace à la sortie du réseau

E\_Grid : c'est l'énergie injectée au réseau pour chaque mois de l'année

DiffHor : irradiation horizontal diffusé

T-Amb : température ambiante

GlobInc : rayonnement global sur un capteur plan

**Tableau 6 :**Résultas de simulation par logiciel pv syst 7.2

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	59.9	33.52	10.13	86.8	85.2	5.13	5.03	0.836
February	97.1	38.94	10.53	136.2	133.9	7.99	7.86	0.832
March	125.8	52.27	11.32	150.7	147.6	8.69	8.53	0.816
April	157.2	61.60	15.51	168.5	164.4	9.48	9.32	0.797
May	213.0	73.82	16.68	206.4	201.2	11.61	11.41	0.797
June	232.8	72.68	18.78	214.2	208.7	11.93	11.73	0.789
July	249.8	66.63	24.45	236.2	230.7	12.73	12.52	0.764
August	208.7	64.24	24.59	215.1	210.3	11.61	11.42	0.766
September	158.6	56.89	23.31	182.6	179.0	9.96	9.79	0.773
October	122.7	45.90	20.53	164.8	162.1	9.22	9.06	0.793
November	54.3	33.25	12.89	74.0	72.4	4.30	4.20	0.818
December	56.0	26.06	9.88	90.4	88.9	5.38	5.27	0.840
Year	1735.8	625.80	16.59	1925.9	1884.4	108.04	106.15	0.795

**Legends**

GlobHor Global horizontal irradiation

DiffHor Horizontal diffuse irradiation

T\_Amb Ambient Temperature

GlobInc Global incident in coll. plane

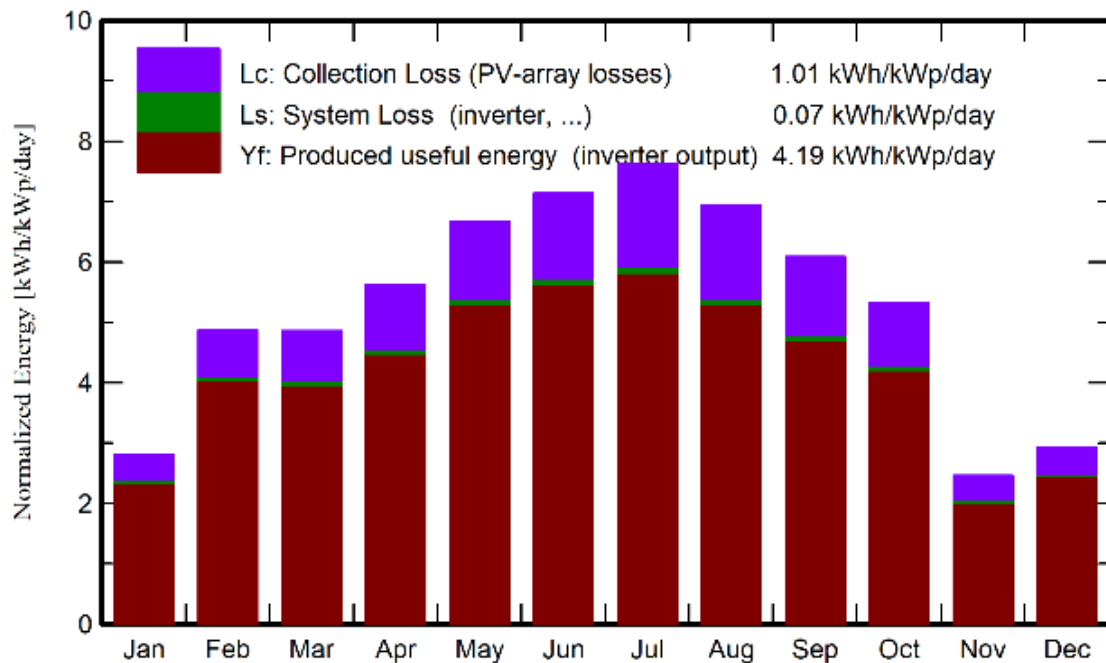
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings

EArray Effective energy at the output of the array

E\_Grid Energy injected into grid

PR Performance Ratio

Activer Wi  
Accédez aux p



**Figure 42 :**production normalisée

### **3.6 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons donné un exemple de dimensionnement d'une installation PV connecté au réseau sur la toiture de département des énergies renouvelable de capacité 70 kw<sub>c</sub>, par l'utilisation de logiciel pv syst on peut déterminer l'énergie annuelle injectée au réseau 106 Mwh\ann.

### 4 CHAPITRE 4 : *Étude technicoéconomique*

#### 4.1 Introduction

L'utilisation des cellules solaires comme source d'énergie électrique a fait apparaître le besoin d'étudier un projet d'installation photovoltaïque.

Dans ce chapitre nous allons simuler une installation photovoltaïque pour un particulier qui possède département et on analyse une possible économie d'énergie qui soit importante, ainsi que la possibilité de réduction de l'émission de GES (gaz à effet de serre).

Premièrement, nous avons sélectionné la région d'étude et ses paramètres météorologiques, nous choisissons la région Blida. La simulation de l'installation à université Blida pavillon 23 en utilisant le logiciel RETScreen qui est un outil d'analyse de projets d'énergies propres basé sur Excel qui aide les décideurs à déterminer rapidement et à peu de frais si un projet d'énergie renouvelable, d'efficacité énergétique et de cogénération est financièrement et techniquement viable.

##### 4.1.1 Type d'installation

Un système d'alimentation photovoltaïque raccordé au réseau ou un système de production d'énergie photovoltaïque solaire qui est connecté au réseau de distribution. Une installation photovoltaïque connectée au réseau se compose des panneaux solaires, d'un ou plusieurs onduleurs, d'une unité de conditionnement de l'alimentation et d'un équipement de raccordement au réseau. Ils vont des petits systèmes de toit résidentiels et commerciaux aux grandes installations solaires à grande échelle. Contrairement aux systèmes d'alimentation autonomes, un système connecté au réseau inclut rarement une solution de batterie intégrée, car ils restent très coûteux. Lorsque les conditions le permettent, le système PV raccordé au réseau fournit la puissance excédentaire, au-delà de la consommation de la charge connectée, au réseau de distribution.

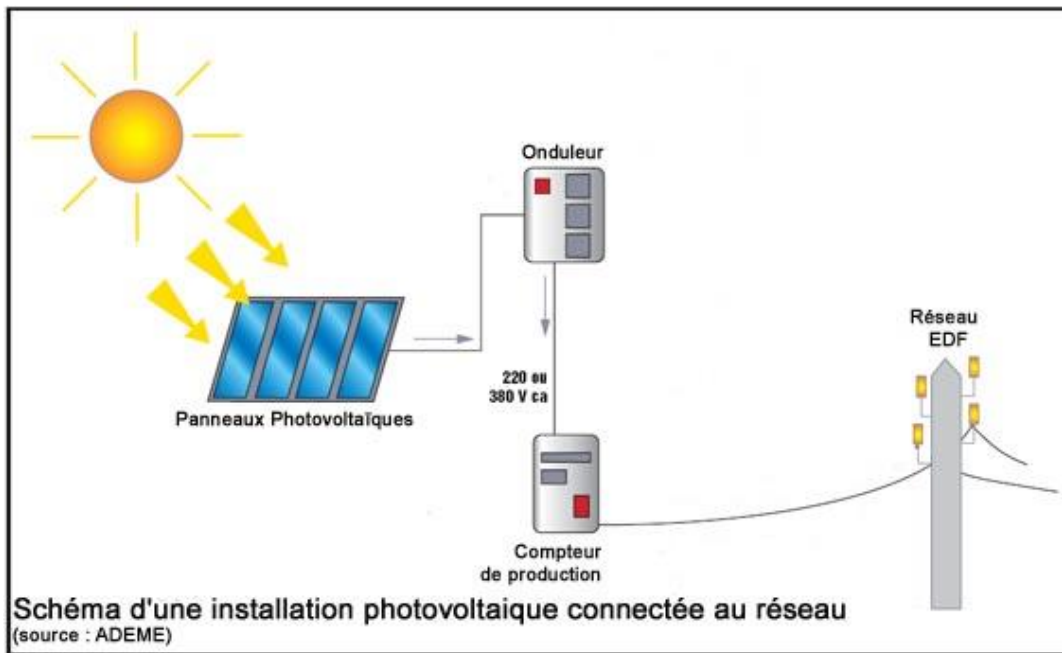


Figure 43 :Schéma de l'installation étudiée

### 4.2 Présentation du logiciel RETScreen EXPERT

RETScreen EXPERT est un système Logiciel de gestion d'énergies propres pour l'analyse de faisabilité de projets d'efficacité énergétique, d'énergies renouvelables et de cogénération ainsi que pour l'analyse de la performance énergétique en continu. Il permet aux professionnels et aux décideurs d'identifier, d'évaluer et d'optimiser de façon rapide la viabilité technique et financière de projets potentiels en matière d'énergies propres [25].

#### 4.2.1 Aperçu du logiciel RETScreen

- ✓ Cette plate-forme logicielle d'intelligence décisionnelle permet de [26] :
  - Mesurer et de vérifier facilement les performances réelles de notre installation ;
  - Évaluer la production et les économies d'énergies ;
- Évaluer la viabilité financière et le risque de différentes technologies d'énergies renouvelables et d'efficacité énergétique
- Calculer et évaluer les coûts et les réductions des Gaz à Effet de Serre, GES

- Évaluer des mesures d'efficacité énergétique (EE) pour les bâtiments résidentiels, commerciaux et institutionnels ;
- Trouver des possibilités supplémentaires d'économies et de production d'énergie.

✓ Le logiciel inclut :

Base de données de projets fournissant un accès immédiat à des données-clés et à des renseignements sur des centaines d'étude de cas et de projets-modèles ;

Base de données climatique étendue à plus de 4 700 stations météorologiques au sol et intégration des données satellite de la NASA à même le logiciel afin de couvrir la surface totale habitée de la Terre ;

✓ Les modèles pour les énergies renouvelables, la cogénération et l'efficacité Énergétique (EE) intégrés dans un seul fichier ;

✓ Plus de 600 000 utilisateurs dans le monde avec plus de 50 000 nouveaux utilisateurs chaque année ;

Plus de 8 milliards de dollars économisés par les utilisateurs depuis 1998

### 4.2.2. Étude de faisabilité

Le module d'analyse de faisabilité, y compris l'analyseur d'énergie virtuel, permet aux professionnels et aux décideurs d'identifier rapidement et d'évaluer la viabilité de l'énergie potentielle, de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables à travers le monde.

L'analyse se fait en cinq étapes :

- ✓ l'analyse de l'énergie ;
- ✓ l'analyse des coûts ;
- ✓ l'analyse des émissions ;
- ✓ l'analyse financière ;
- ✓ l'analyse de la sensibilité et des risques.

### 4.3 Configuration du logiciel

Avant de commencer l'analyse économique de notre centrale PV à l'aide du logiciel RETScreen, on doit configurer le logiciel de sorte que les entrées et les résultats soient traités de la façon avantageuse pour notre projet, et approprié à une analyse d'un projet PV de 70 KW enpavillon 23.

### 4.3.1 Paramètres d'entrées

La page des paramètres, sous l'onglet fichiers s'affiche, nous configurons le logiciel en modifiant la liste des paramètres, avec les informations qui nous convient, le tableau 7 représente les modifications apportées à la page de paramètres.

**Tableau 7 :** Configuration de la page paramètres dans logiciel RETScreen.

Les paramètres		
Langue		Français
Devise	DZD	Algérie
Unité :	/	Métrique
✓ Unité d'énergie courante : <ul style="list-style-type: none"><li>● Bien immobilier.</li><li>● Centrales électriques.</li></ul>	KWh	
✓ Unité puissance courante : <ul style="list-style-type: none"><li>● Centrales électrique</li></ul>	KWh	
Paramètre par défaut	/	Recherche
Années	/	Civile
Lieu d'installation	/	Défini par l'utilisateur
Taux de change	\$/DZD	0,00777
Durée de vie de projet	An	30
Prix d'électricité exportée	DZD/kWh	18

### 4.3.2 L'évaluation des ressources

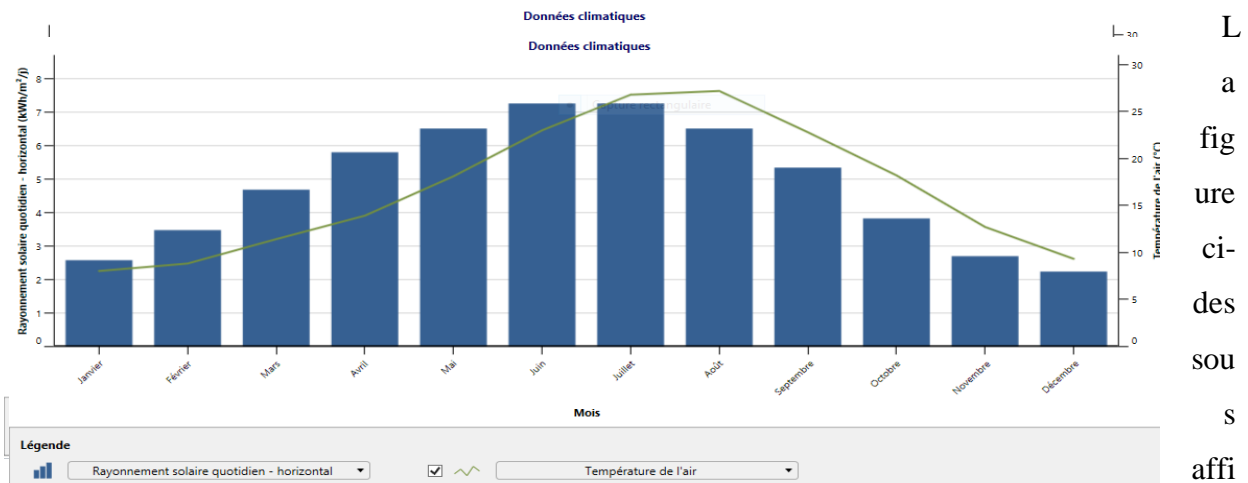
L'analyse de ces paramètres climatiques permet de déterminer leurs variabilités dans le temps. Ces valeurs de calcul de climatisation, sont présentes dans la base de données climatique RETScreen, et sont calculées sur une base horaire et pour une année complète.

Dans cette section, on trouve un tableau représentatif des données climatiques liées à l'emplacement de la installation et qui varie au cours de l'année : la température de l'air, le rayonnement solaire quotidien, l'humidité, la pression atmosphérique etc...

**Tableau 8 :** Les données climatiques de Blida la base de données RETScreen

Mois	Température de l'air	Humidité relative	Précipitation	Rayonnement solaire quotidien - horizontal	Pression atmosphérique	Vitesse du vent	Température du sol	Degrés-jours de chauffage 18 °C	Degrés-jours de climatisation 10 °C
	°C	%	mm	kWh/m²/j	kPa	m/s	°C	°C-j	°C-j
Janvier	8.0	77.7%	65.72	2.57	95.6	3.5	7.7	310	0
Février	8.8	75.0%	57.96	3.47	95.4	3.4	8.6	258	0
Mars	11.4	70.2%	56.11	4.68	95.3	3.3	11.4	205	43
Avril	13.9	65.2%	54.60	5.80	95.0	3.3	14.2	123	117
Mai	18.1	60.5%	48.36	6.51	95.1	3.0	18.6	0	251
Juin	23.0	51.0%	14.70	7.26	95.2	2.9	23.8	0	390
Juillet	26.8	43.3%	6.20	7.26	95.2	2.9	28.0	0	521
Août	27.2	43.5%	14.57	6.51	95.2	2.8	28.5	0	533
Septembre	22.8	55.3%	34.80	5.34	95.3	2.9	23.7	0	384
Octobre	18.2	62.8%	47.43	3.82	95.3	3.0	18.5	0	254
Novembre	12.7	71.5%	65.40	2.69	95.3	3.5	12.6	159	81
Décembre	9.3	77.6%	65.41	2.23	95.5	3.5	9.0	270	0
<b>Annuel</b>	<b>16.7</b>	<b>62.7%</b>	<b>531.26</b>	<b>4.85</b>	<b>95.3</b>	<b>3.2</b>	<b>17.1</b>	<b>1,324</b>	<b>2,575</b>
<b>Source</b>	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Mesuré à					m	10	0		








che un graphique à barres (de rayonnement quotidien horizontal (KWh/m<sup>2</sup> /j)) et à lignes (de température de l'air (°C)) des données climatiques mensuelles à long termesélectionnées sous le graphique. On note qu'on peut choisir d'autres variables selon nos besoins dans cette page d'analyse

**Figure 44 :** Les données climatiques (le rayonnement solaire quotidien et la température de l'air) utilisées par le logiciel pour ce projet d'universitéBlida

### 4.4 Analyse de faisabilité

Ce type d'analyse va plus en profondeur dans la caractérisation des éléments du projet et doit fournir plus de renseignements à propos des caractéristiques physiques, de la viabilité financière, des impacts sociaux, environnementaux ou autres impacts du projet. Ainsi, le promoteur peut prendre une décision plus éclairée quant à la poursuite du projet. L'analyse de faisabilité est caractérisée par la collecte de données précises à propos des coûts et des équipements. Cela implique généralement des simulations informatiques plus détaillées et la sollicitation d'information auprès des fournisseurs d'équipements à propos des coûts des équipements.

**Tableau 9 :** Informations personnalisées de l'étude du projet d'installation PV.

Type d'installation	Centrale électrique	▼
Type	Photovoltaïque	▼
Description	70 kW - Tarif de rachat - Politique	
Taille de l'installation	kW	▼ 70
Préparé pour	Université Blida 1, département	
Préparé par	Université Blida 1, département	
Nom de l'installation	Étude de cas - Solution	
Adresse	Route de Soumaa	
Ville/Municipalité	Blida	
Province/État	Blida	
Pays	Algérie	

Conformément aux conditions financières de départ, le rapport final de cette étude comportera les informations techniques, économiques et environnementales pour permettre au maître d'ouvrage de poursuivre ou non le projet d'installation de cette installation photovoltaïque raccordée au réseau. Cette étude s'effectue en 3 phases principales :

### 4.4.1 LA PHASE 1 : Étude Technique

Cette première phase a pour but de définir, techniquement, notre installation (les caractéristique, le dimensionnement...) et de dégager les grands axes d'étude. Cette phase est considérée comme une première évaluation qui permet d'orienter l'étude de faisabilité.

### 4.4.2 Présentation de l'installation étudiée

Dans cette section, en utilisant la feuille de calcul d'installation, nous allons faire entrer les données générales de l'installation, c'est le premier pas également à l'option de

préparer une analyse de fusibilité. Le tableau suivant représente tous les données de l'installation qu'on va introduire dans logiciel (tableau10).

**Tableau 10 :**Données générales de l'installation

	RENSEIGNEMENTS SUR L'INSTALLATION	
<b>L'installation</b>	Pays	Algérie
	Province	Blida
	Ville	Oulad Yaich
	Type	installation électrique « Photovoltaïque » raccordée au réseau
	Nom	installation PV
	Puissance	70kw

### 4.4.2.1 Présentation technique et dimensionnement du projet

Ce type d'analyse va plus en profondeur dans la caractérisation des équipements solaires du projet, ce sont les principaux composants du système PV étudié : c'est à dire les modules photovoltaïques, le système de contrôle, les onduleurs, et les diverses fournitures indispensables au montage et à l'installation de cette dernière (structures, câbles, boîtiers et d'autres accessoires, ...). Il est à souligner que dans cette phase on va effectuer une analyse technique détaillée.

Le tableau 11 présente les détails pour chaque équipement (champ PV, onduleurs) du projet de construction installation PV à pavion 23.

**Tableau 11 :Détails des équipements**

<b>Photovoltaïque</b>		
Type		poly-Si
Capacité électrique	kW	69.36
Fabricant		Yingli Solar
Modèle		poly-Si - YGE 72-Multi-Busbar-YL340P12B-35b
Nombre d'unités		204
Rendement	%	17.49%
Température nominale des cellules en opération	°C	45
Coefficient de température	% / °C	0.4%
Surface du capteur solaire	m <sup>2</sup>	397
Facteur d'ajustement de cellule solaire biface	%	
Pertes diverses	%	
<b>Onduleur</b>		
Rendement	%	98.2%
Capacité	kW	75
Pertes diverses	%	0%

### 4.4.3 PHASE 2 : Étude économique et financière

Dans cette phase, on a spécifié les paramètres financiers tels que le coût d'un kWh, le coût de référence de combustible choisis, le taux d'inflation, le taux d'actualisation, le revenu en électricité ...etc. À partir de ces renseignements, RETScreen calcule un ensemble d'indicateurs financiers qui caractérisent la rentabilité économique d'exploitation de l'installation PV de pavillon 23. Donc, cette phase nous permet d'afficher la liste complète d'indicateurs financiers de cette installation.

#### 4.4.3.1 Le coût de référence

Dans cette section, on a effectué une analyse de comparaison rapide pour notre installation photovoltaïque.

L'idée est d'établir une référence basée sur la valeur pour laquelle on serait en mesure d'être payé pour la production d'énergie de l'installationPV. Il est ensuite facile d'établir une

comparaison entre les coûts de génération d'électricité des différentes technologies et de vérifier de façon rapide si notre projet éventuel serait financièrement viable.

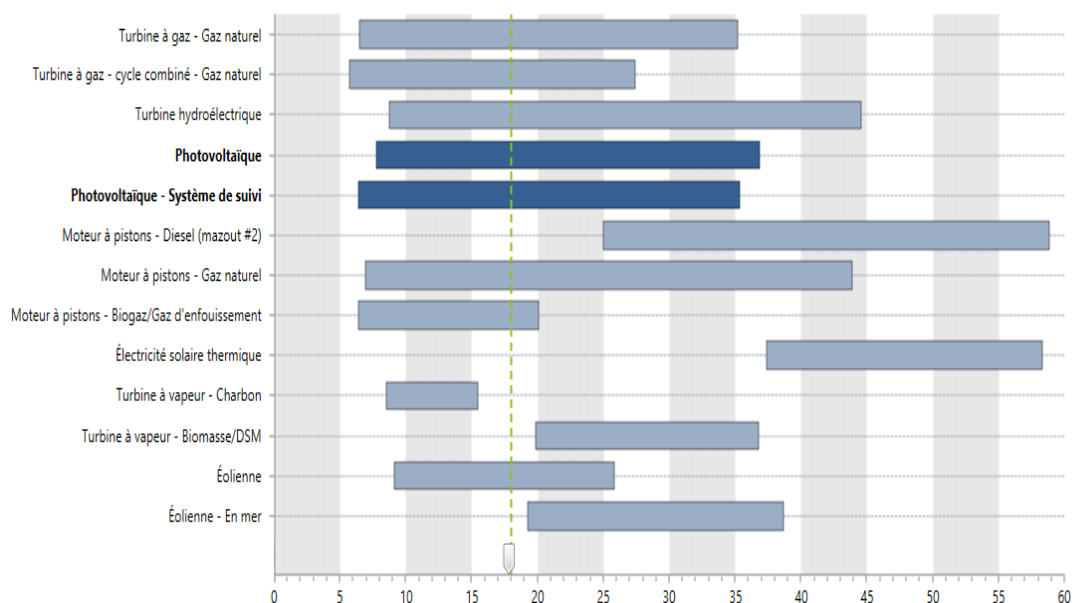


Figure 45 : Comparaison des prix des différentes technologies de production

### 4.4.3.2 Analyse financière

Cette phase nous permet d'analyser et d'exposer en détail, les différents coûts liés à la future installation photovoltaïque. Ceux que nous avons utilisés sont les coûts que nous avons estimés grâce aux différentes données. Aussi, tous les coûts périodiques sont annualisés et inclus dans les frais annuels d'exploitation et d'entretien proposés par le logiciel RETScreen à cause du manque des données détaillées du cahier de charge du projet.

#### A. Les paramètres financiers

La rubrique "Paramètres financiers" nous a permis d'insérer les données relatives à l'aspect financier du projet :

- ✓ **le taux d'inflation** : c'est le taux annuel moyen d'augmentation du coût évité en énergie prévu sur la durée de vie de notre projet, on l'a fixé à 2%.
- ✓ **la durée de vie du projet** : 30 ans

#### B. Coûts, économies et revenus

Le tableau suivant présente les coûts obtenus en détails après l'analyse financière de ce projet.

**Tableau 12 :** Les coûts obtenus de l'analyse financière du projet.

Coûts   Économies   Revenus			
<b>Coûts d'investissement</b>			
Coût d'investissement	100%	DZD	19,831,011
<b>Total des coûts d'investissement</b>	<b>100%</b>	<b>DZD</b>	<b>19,831,011</b>
<b>Flux monétaires annuels - An 1</b>			
<b>Frais annuels et paiements de la dette</b>			
Coûts d'exploitation et entretien (économies)		DZD	236,083
Paielements de la dette		DZD	0
<b>Total des frais annuels</b>		<b>DZD</b>	<b>236,083</b>
<b>Économies et revenus annuels</b>			
Revenu d'exportation d'électricité		DZD	2,266,309
Revenu pour réduction de GES		DZD	0
Autre revenu (coût)		DZD	0
Revenu pour production d'ÉP		DZD	0
<b>Total des économies et des revenus annuels</b>		<b>DZD</b>	<b>2,266,309</b>
<b>Flux monétaire annuel net - An 1</b>		<b>DZD</b>	<b>2,030,226</b>

### 4.4.3.3 Flux monétaires

Le calcul des flux monétaires réalise un suivi sur une base annuelle de toutes les dépenses (flux sortants) et des revenus (flux entrants) induits par l'installation. Grâce à logiciel prédictif RETScreen, on peut simuler un scénario en obtenant les flux monétaires de notre projet, avant l'impôt qui sont affichés dans cette sous-section. Dans cette partie ce modèle fait les hypothèses suivantes :

- ✓ L'année d'investissement initial est l'année Zéro ;
- ✓ Les coûts et les crédits sont donnés pour l'année Zéro, et par conséquent, le taux d'inflation est appliqué à compter de l'année Une
- ✓ Le calcul des flux monétaires est effectué à la fin de l'année.

#### A. Flux monétaires annuels

Les flux monétaires nets avant impôt sont l'estimation à chaque année des sommes d'argent qui sont déboursées ou récoltées, avant impôt, tout au long de la vie de notre installation.

Cela est montré dans la figure ci-dessous

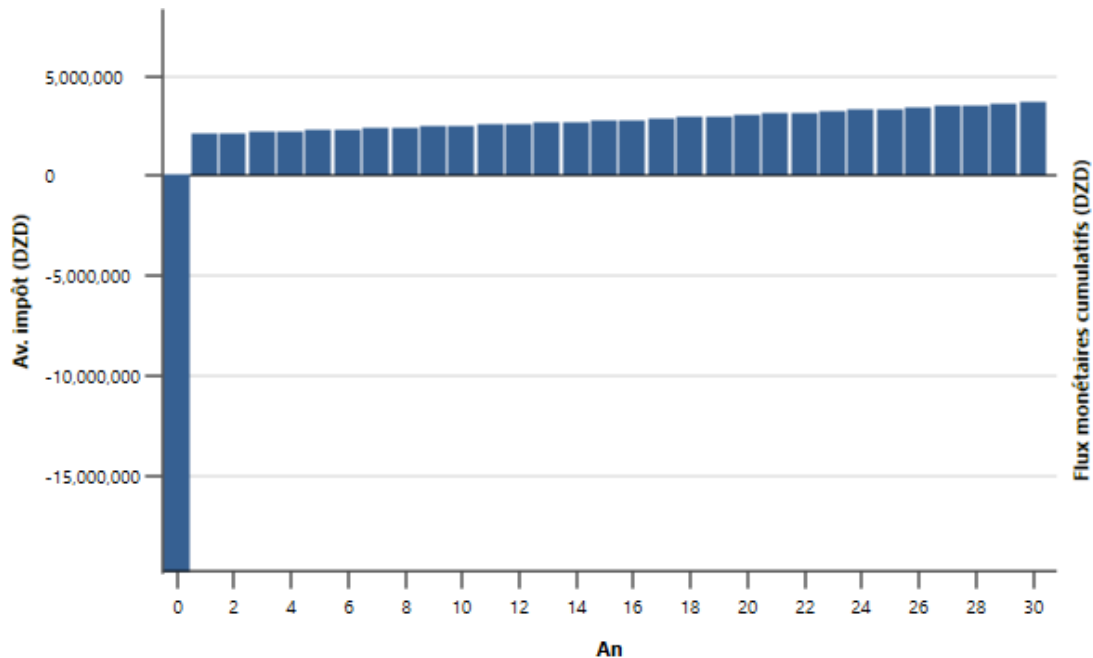


Figure 46 : Flux monétaires annuel

D'après la figure 45, nous remarquons que le flux monétaire de l'année 0 (début de fonctionnement de la installation) représente le cout d'investissement déboursé (flux sortants), et à partir de la première année, ce dernier représente la différence entre les flux sortants et les flux entrants, qui sont illustrés dans le graphe comme étant des revenus de cet investissement, et qui s'accroît faiblement pendant les 15 premières années, dont la raison est le payement des dettes. À partir de la 16eme année, les revenus s'améliorent d'une façon remarquable.

### B. Flux monétaires cumulatifs

Les flux monétaires cumulatifs représentent, année après année, les flux monétaires nets avant impôt cumulés depuis l'an 0 (depuis la réalisation de cette installation) a sa durée de vie (30ans).

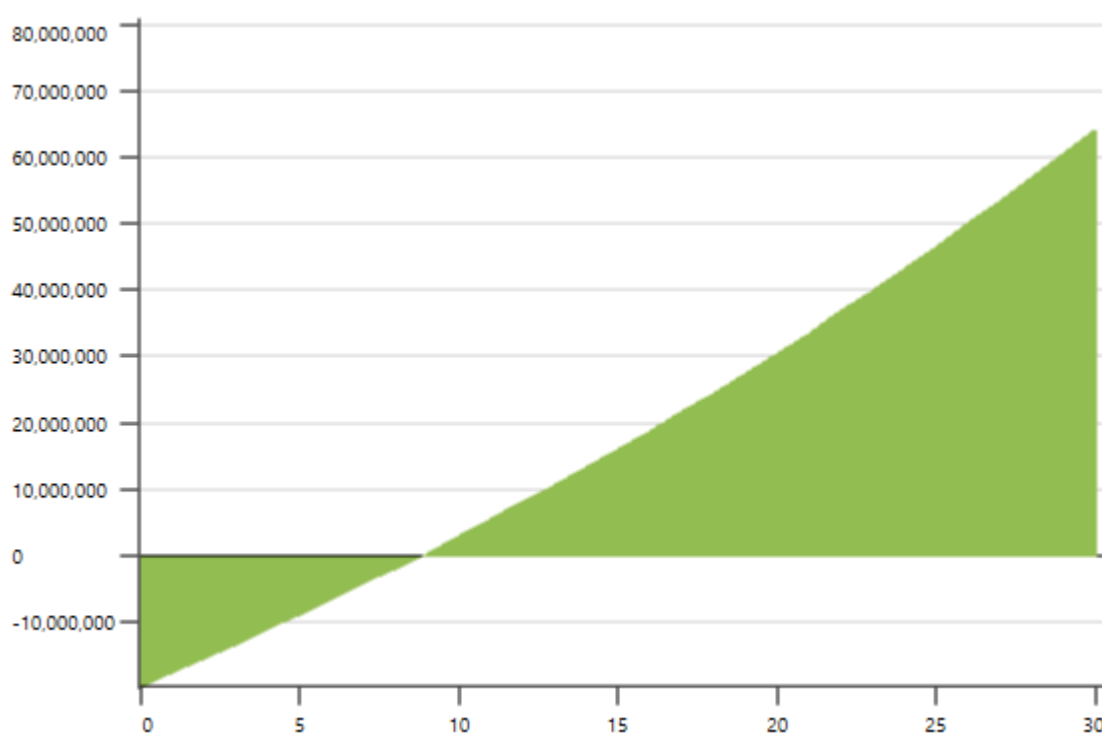


Figure 47 :Flux monétaires cumulatifs

### c.La viabilité financière

Nous allons voir, dans cette sous partie, comment le gain financier d'un projet peut évaluer sa rentabilité et sa pertinence de manière importante et remarquable. En faisant fixer la durée de remboursement de l'emprunt à 15 ans, la rentabilité du projet s'améliore encore

nettement. Nous allons donc voir, à l'aide de RETScreen, l'influence des paramètres financiers de ce projet dans le tableau suivant :



Tableau 13 : Paramètres financiers de l'installation PV

Viabilité financière		
TRI avant impôt - capitaux propres	%	11.8%
TRIM avant impôt - capitaux propres	%	9.9%
TRI avant impôt - actifs	%	11.8%
TRIM avant impôt - actifs	%	9.9%
Retour simple	an	9.8
Retour sur les capitaux propres	an	8.8
Valeur Actualisée Nette (VAN)	DZD	5,713,438
Économies annuelles sur la durée de vie	DZD/an	556,125
Ratio avantages-coûts		1.3
Recouvrement de la dette		Pas de dette
Coût de réduction de GES	DZD/tCO <sub>2</sub>	-8,166
Prix de revient de l'énergie	DZD/kWh	17.63

Après l'étape de détermination des paramètres liés à la rentabilité du projet, qui peuvent être les plus critiques ou les plus bénéfiques à sa validité afin d'obtenir des résultats optimaux, nous avons choisi parmi les différents indicateurs financiers, le flux monétaire annuel net par An qui est égale à 2,030,225DZD /an et qui indique que le projet est rentable au long de sa durée de vie.

#### 4.4.4 PHASE 3 : Bilan et analyse Environnemental

##### 4.4.4.1 La réduction des GES

La technologie photovoltaïque n'a que très peu d'impact négatif sur l'environnement, par rapport à ce qu'elle peut apporter comme bénéfices en matière d'écologie. Tout projet d'énergie renouvelable contribue pour un certain degré à la réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre, GES, principalement le CO<sub>2</sub>. L'objectif de cette phase est de faire réaliser une analyse RETScreen des réductions des émissions de GES et déterminer les émissions de CO<sub>2</sub> évitées suite à la réalisation de l'installation PV de pavillon 23. Le calcul des émissions GES est basé sur la comparaison entre un cas de référence (mazout (#6)) et le projet proposé (installation photovoltaïque), sur une base annuelle, en prenant en compte les facteurs d'émissions de GES associés à la production d'électricité en Algérie. Les résultats obtenus sont reportés sur la figure 48.

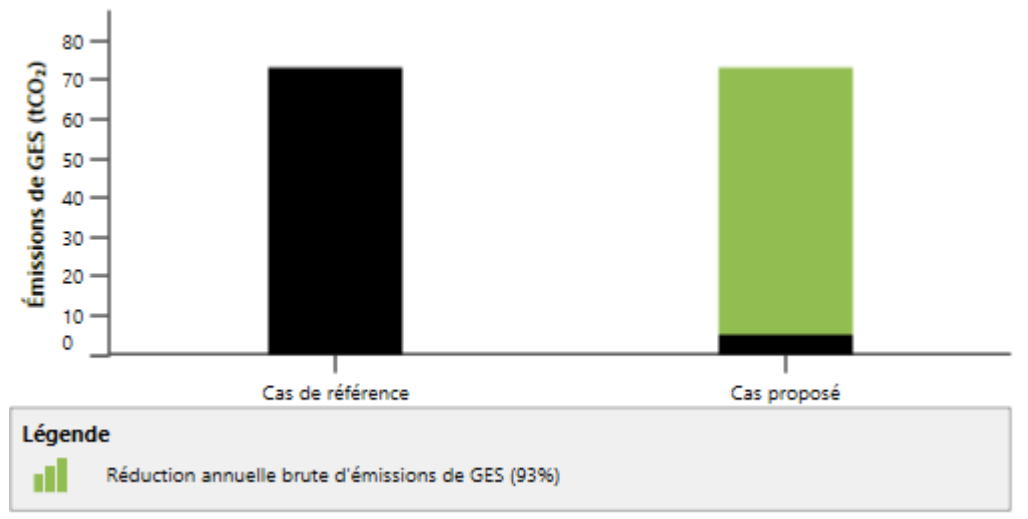


Figure 48 :Le sommaire de comparaison de réseau électrique de référence et de cas proposé.

### 4.4.5 Discussion et analyse des résultats

#### 4.4.5.1 Discussion

L'étude de faisabilité tient une place importante dans la phase de cadrage d'un projet et plusieurs facteurs doivent absolument être abordés dans cette étude :

- ✓ La disponibilité de la ressource énergétique (dans notre cas, le rayonnement) ;
- ✓ Le choix des équipements ;
- ✓ Les paramètres caractérisant le financement disponible auront une influence sur la rentabilité du projet, notamment le ratio d'endettement, la durée sur laquelle l'emprunt pourra être remboursé et le taux d'intérêt ;
- ✓ Le coût initial du projet est déterminant, de même que tous les crédits qui peuvent contribuer à diminuer le coût initial du projet en comparaison des coûts du projet de référence choisi ;
- ✓ Le niveau de risque ;
- ✓ L'impact environnemental évité.

Toutes ces considérations doivent faire partie de l'analyse qui déterminera si un projet d'énergies propres est viable ou non, on voit que l'évaluation de la rentabilité d'un projet dépend de beaucoup d'autres paramètres qui sont présentés dans l'étude effectuée ci-dessus. Cette étude consiste à explorer tous les concepts du projet tout en permettant de répondre à un besoin exprimé en termes d'objectif à atteindre et mieux cibler les efforts de développement et d'évaluation, et aussi prendre en compte les chiffres d'affaire de cette installation en gardant le coût de développement du projet le plus bas possible . Lorsque notre étude est

terminée et validée, et une fois elle montre que le projet est viable, on peut donc entreprendre la phase de réalisation.

### 4.4.5.2 Analyse des résultats RETScreen

RETScreen présente les résultats de l'analyse financière sous forme d'analyse des coûts globaux du projet sur son cycle de vie, ce qui permet de réaliser une juste comparaison entre les technologies d'énergies propres et leurs correspondants conventionnels.

Les résultats des flux monétaires cumulatifs sont montrés à Tableau (13). Ils sont produits par RETScreen pour le scénario de base, sans subvention et en considérant que le taux d'indexation des combustibles soit égal à zéro, s'est-il dire le prix des combustibles reste constant pour les 30 ans prochains (la durée de vie du projet).

On remarque que le graphique des flux monétaires cumulatifs est divisé en deux parties ou bien deux régions :

- ✓ La première partie (0 ans à 8 ans) : dans cette partie le graphique des flux monétaires cumulatifs est négatif parce que les coûts de l'installation de PV sont supérieurs aux bénéfices tirés du projet.
- ✓ La deuxième partie (8 ans à 30 ans) : dans cette partie le graphique des flux monétaires cumulatifs est positif parce que les bénéfices tirés du projet sont supérieurs aux coûts du projet, où en l'année 8, on récupère le coût initial du projet.

## 4.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait une étude technico-économique d'un système PV que l'électricité photovoltaïque ne génère aucune nuisance : ni gaz à effet de serre, ni déchet.

L'analyse de résultats de la simulation a prouvé qu'université Blida à un potentiel important de production de l'électricité à partir des panneaux solaires photovoltaïques.

## **CONCLUSION GENERALE**

---

Notre travail a consisté en une étude de la possibilité d'exploitation des toits des bâtiments de l'université de Blida 1 pour l'installation de centrales de production et d'exportation d'électricité photovoltaïque.

En premier lieu nous avons présenté un état de l'art et perspectives sur énergie solaire photovoltaïque en donnant les derniers chiffres concernant la production et les installations à l'échelle mondiale et nationale. Ensuite nous avons donné des généralités sur les systèmes photovoltaïques et leurs caractéristiques principales, leurs différents composants principaux. Après nous avons fait un dimensionnement d'un système de centrale photovoltaïque raccordée au réseau pouvant être installée sur le toit du pavillon 23 de l'université de Blida 1. Enfin nous avons fait une étude technico-économique par logiciel RetScreen expert.

Les résultats du dimensionnement sont conditionnés par les paramètres de base (Irradiation solaire, température ambiante, surface exploitable).

En conclusion on peut dire que les toits des bâtiments universitaires inutilisés en Algérie sont une importante source de revenus pour les universités.

## Références

- [1] M.E. Becquerel. Mémoire sur les effets électrique produits sous l'influence des rayons solaires. Compte rendus de l'Académie des sciences.
- [2] Ministre de l'énergie et des mines Algérienne : le programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, mars 2011.
- [3] Amine, DAOUD. (2013). Contrôle de la puissance d'un générateur photovoltaïque pour le pompage solaire (Doctoral dissertation, Université Mohamed Boudiaf des sciences et de la technologie d'Oran).
- [4] A. and perspectives, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, pp. 1169-1181, 2011.
- [5] Ben Guehza M. L., Impact de l'espace entre les deux vitrages sur le rendement d'un capteur solaire, mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de magister, université de kasdi Merbah OUARGLA, 2009.
- [6] HARIZ Abdelkader Abdelhafid, Etat de l'Art sur les Energies Solaire et Eolienne en Algérie, mémoire de Magistère, Université MOHAMED KHIDER BISKRA, 2010.
- [7] <https://blog.lendopolis.com/energies-renouvelables/panorama-energie-solaire-monde/>
- [8] <https://www.solarpowereurope.org>
- [9] [https://iea-pvps.org/trends\\_reports/trends/](https://iea-pvps.org/trends_reports/trends/)
- [10] <https://andi.dz/energies-renouvelables/>
- [11] <https://www.pv-magazine.fr>
- [12] <https://www.energy.gov.dz>
- [13] C. Bernard « station solaire autonome pour l'alimentation station pompage » l'archive ouverte pluridisciplinaire HAL 2006].
- [14] A. Hammidat Hadj arab et M.T BOUKADOUM « performance et cout des systèmes de pompage PV en ALGERIE » (2005).
- [15] - Bendali Braham. Mounir MEMOIRE DE MASTER << etude et simulation d'une chaine de production photovoltaïque >> .2008
- [16] - M. T. Boukadoum, A. Hamidat et N. Ourabia << Le Pompage Photovoltaïque >> rapport du Centre De Développement. des Energies Renouvelables, Rev. Energ. Ren. : Zones Arides (2002) 69-7

## REFERENCES

---

- [17] - ASSEM Houria<< Le régulateur de charge et de contrôle dans un système Photovoltaïque Autonome>>Attachée de Recherche Division Energie solaire Photovoltaïque - CDRE. 2014
- [18] <https://www.ecosolaire.com/2017/10/09/regulateur-solaire/>
- [19] <http://www.memalgeria.com>
- [20] <https://fr.eni.com/particuliers/photovoltaïque-raccordement-electrique>
- [21] <https://www.iea.org/topics/buildings>
- [22] <https://www.aps.dz/economie/117852-electricite-le-tarif-moyen-applique-au-citoyen-inferieur-au-cout-reel>
- [23] <https://fr.ensolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/10819>
- [24] <https://studylibfr.com/doc/2160535/ute-c-15-712-1-guide-pratique-installations>
- [25] <https://www.rncan.gc.ca/cartes-outils-publications/outils/logiciels-danalyse-de-donnees-ou/retscreen/7466>
- [26] <https://www.globalelectricity.org/content/uploads/RETScreen-presentations-in-French.pdf>